De bepaling * * * * *
DER * * * * * * * * * *
Natuurlijke Ventilatie.

Stanford University Library
JAN
1997

J. J. VAN ÆCK.

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/debepalingdernat0000joha

DE BEPALING DER NATUURLIJKE VENTILATIE.

DE BEPALING * * * * * * * *
DER * * * * * * * * * * * * * * *
NATUURLIJKE VENTILATIE.

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR IN DE ARTSENIJBEREIDKUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE LEIDEN, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS DR. W. NOLEN, HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GENEESKUNDE, VOOR DE FACULTEIT TE VERDEDIGEN OP MAANDAG 29 OCTOBER 1906, DES NAMIDDAGS TE 4 UREN, DOOR * * * *

JOHANNES JUSTUS VAN ECK,
GEBOREN TE ZOETERWOUDE.

TE LEIDEN BIJ EDUARD IJDO, 1906.

Aan de nagedachtenis mijner Moeder.

De voltooiing van dit proefschrift biedt mij, bij het einde mijner academische studie, een welkome gelegenheid, aan de Hoogleeraren en Oud-Hoogleeraren in de Faculteit der Wis- en Natuurkunde, mijn dank te betuigen voor het onderwijs dat ik van hen heb mogen ontvangen en voor de hulp en belangstelling die ik bij mijn studie heb ondervonden.

In de eerste plaats geldt dit U, Hooggeleerde Wijsman, *hooggeachte Promotor. Steeds waart Gij bereidt mij Uw bijstand te verleenen, waar ik die ook noodig had. Vooral bij de bewerking van dit proefschrift en bij de hygiënische onderzoekingen, die Gij mij in de gelegenheid stelt te verrichten sedert ik als assistent werkzaam ben, heb ik dit op hoogen prijs leeren stellen. Mijn dank ook voor Uw welwillenden omgang.*

Ook U, hooggeleerde Lorentz, *heb ik in het bijzonder te danken voor de groote bereidwilligheid waarmede Gij op Uw naamt, een kritisch oog te laten gaan over het meer mathematisch deel van dit proefschrift.*

Ten slotte dank ik ook den Heer A. J. Th. de Van, *Doctorandus in de Wis- en Natuurkunde, voor de vele malen dat hij mij behulpzaam was bij moeielijkheden van wiskundigen aard, die mijn krachten te boven gingen.*

INHOUD.

HOOFDSTUK I.

Blz.

A. Historisch Overzicht 1

B. De bepaling der Natuurlijke Ventilatie 22

HOOFDSTUK II.

Invloed der diffusie en van het specifiek gewicht van het indicatorgas bij de bepaling der Natuurlijke Ventilatie 36

A. Invloed der diffusie 38

B. Invloed van het specifiek gewicht van het indicatorgas 56

HOOFDSTUK III

Experimenteel gedeelte 65

Conclusie's 106

Analytische Methoden 113

Bijlagen I—XIII 127

STELLINGEN 141

HOOFDSTUK I.

A. **Historisch overzicht.**

Onder natuurlijke, of vrijwillige ventilatie pleegt men in het algemeen te verstaan, de luchtwisseling welke in een vertrek plaats vindt, zonder hulp van opzettelijk aangebrachte ventilatie-inrichtingen.

De eerste, die op het bestaan eener zoodanige luchtwisseling opmerkzaam maakte en deze nader bestudeerde, was Pettenkofer.[1])

De aanleiding daartoe was zeer waarschijnlijk een waarneming die Grassi te Parijs gedaan had, bij het bestudeeren van de verschillende stelsels van kunstmatige ventilatie, die in het Hôpital La Riboisière te Parijs in toepassing waren gebracht.

In één der afdeelingen van die inrichting werd versche lucht in de zalen ingeblazen, terwijl afzonderlijke afvoerkanalen waren aangebracht om de bedorven lucht af te voeren. Herhaaldelijk vond Grassi dat, wanneer de ventilator met volle kracht werkte, door de afvoerkanalen aanzienlijk minder lucht ontweek dan

[1]) Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden. München, 1858.

aan het vertrek werd toegevoerd. Somtijds kwam het zelfs voor, dat onder dezelfde omstandigheden door de afvoerbuizen lucht naar het geventileerde vertrek toestroomde. In een andere afdeeling van hetzelfde hospitaal, waar de bedorven lucht door zuiging uit de zalen werd verwijderd, stroomde door de toevoerbuizen steeds aanzienlijk veel minder versche lucht toe, dan door den ventilator verwijderd werd.

Toen Pettenkofer, als lid van de „Königliche Commission für Ventilation der Spitäler in München", de verschillende ventilatiestelsels der Parijzer hospitalen bestudeerde, bijgestaan door Grassi, nam ook hij bovengenoemde verschijnselen waar, welke volgens Grassi uitsluitend hun oorzaak vonden in het onnauwkeurig sluiten van vensters en deuren.

Te München teruggekeerd, stelde Pettenkofer een nader onderzoek in over deze quaestie.

In de eerste plaats bewees hij dat ook in gewone woonvertrekken, zonder bijzondere ventilatieinrichtingen, een luchtverversching plaats grijpt, door aan te toonen, dat het niet mogelijk is in de atmospheer van een zoodanig vertrek al het koolzuur terug te vinden, dat door de ademhaling der bewoners daarin is gebracht. Daar, zegt Pettenkofer, de wanden van het vertrek, wanneer zij droog zijn en niet te nieuw, geen koolzuur kunnen vastleggen, moet noodwendig een luchtververssching plaats vinden, voor de grootte van welke, juist de afname van het koolzuurgehalte der lucht een betrouwbare maatstaf is.

Om de grootte dezer luchtwisseling te bepalen, ontwikkelde hij in het te onderzoeken vertrek hetzij door verbranden van houtskool, of liever nog, door inwerking

van zwavelzuur op natriumbicarbonaat, een willekeurige hoeveelheid koolzuur, mengde dit gas volkomen met de lucht in het vertrek, en verrichtte vervolgens, telkens met een zekere tusschenpooze, een aantal koolzuurbepalingen. De grootte der luchtwisseling die telkens tusschen twee bepalingen had plaatsgevonden, werd berekend met behulp van een formule, ten zijnen behoeve door prof. S e i d e l opgesteld.

Deze luidt:

$$\gamma = 2.30258 \ldots\ldots m \log \left(\frac{p-q}{a-q}\right)$$ [1])

waarin m voorstelt den inhoud van het vertrek, p het koolzuurgehalte der lucht bij den aanvang der proef, a het koolzuurgehalte aan het einde en q het gehalte aan koolzuur van de instroomende lucht, waarvan het volume wordt aangegeven door γ.

Bij deze formule is aangenomen, dat een even groot volume lucht γ tijdens de proef het vertrek verlaat en dat elke hoeveelheid binnentredende lucht zich onmiddellijk over het heele vertrek verspreidt.

Allereerst bleek uit P e t t e n k o f e r s proeven dat deze natuurlijke ventilatie van woonvertrekken, onder omstandigheden zéér aanzienlijk zijn kan en tevens, dat die onderhevig is aan zeer groote wisselingen, welke in nauw verband bleken te staan met de grootte van het temperatuurverschil tusschen de lucht binnen het vertrek en de buitenlucht.

Terwijl bijvoorbeeld bij een bepaald vertrek een lucht-

---

[1]) Door een drukfout staat in het oorspronkelijke stuk:

$$\gamma = 2.30258 \ldots\ldots m \log \left(\frac{p-a}{a-q}\right).$$

wisseling van 22 M^3 per uur werd gevonden bij een temperatuurverschil van 4° C., bedroeg die bij hetzelfde vertrek 75 M^3, wanneer het temperatuurverschil 19° was, en 95 M^3 bij een verschil in temperatuur van 20°, onder overigens gelijke omstandigheden.

Wat de wegen betreft langs welke dergelijke lucht-hoeveelheden een vertrek in- en uitstroomen, was het duidelijk, dat althans een deel ervan stroomen moest door de kieren van onnauwkeurig sluitende vensters en deuren; doch toen Pettenkofer zijn proeven herhaalde, nadat hij alle dergelijke toevallige openingen zorgvuldig had gesloten, bleek het dat de grootte der luchtwisseling daardoor slechts weinig kleiner was geworden. Terwijl bijvoorbeeld onder gewone omstandigheden de grootte der ventilatie bedroeg 75 M^3 per uur, bij een temperatuurverschil van 19° C., was deze bij hetzelfde temperatuurverschil 54 M^3 per uur, wanneer alle openingen waren dichtgemaakt.

Steunend op deze proeven kwam Pettenkofer tot de overtuiging dat de voornaamste weg, waarlangs de lucht het vertrek in- en uitstroomde, gezocht moest worden in de poriën der (baksteenen) muren.

Dat baksteen werkelijk voor lucht doordringbaar is, bewees hij onder anderen met de bekende, tallooze malen herhaalde proef, dat men door een gewonen baksteen heen, een kaarsvlam kan uitblazen.

De resultaten van Pettenkofers onderzoek waren dus: dat in ieder vertrek, waarbinnen de temperatuur ongelijk is aan die van de buitenlucht, een luchtwisseling plaats vindt, waarvan de grootte in betrekking staat tot het heerschende temperatuurverschil, zonder daarmede evenredig te zijn en dat deze luchtwisseling voor

het grootste gedeelte geschiedt door de poriën der wanden heen.

Behalve de veranderlijkheid van de grootte van deze „natuurlijke ventilatie" met het temperatuurverschil, merkte Pettenkofer ook op, bij nagenoeg iedere serie bepalingen die hij verrichtte, dat de grootte der natuurlijke ventilatie daalde met het afnemen van het koolzuurgehalte van de lucht. Hij zelf schrijft dit verschijnsel toe aan twee oorzaken; in de eerste plaats aan het niet constant blijven van het temperatuurverschil tijdens de proeven en verder ook dááraan, dat gedurende elke proef de koolzuurontwikkeling niet ophield, daar hij voortdurend in het vertrek bleef. Het door de ademhaling ontwikkelde koolzuur, oefende natuurlijk op het gevonden resultaat een invloed uit. In den tijd toen Pettenkofer zijne proeven verrichtte, kon deze factor nog niet in de berekening worden opgenomen. Tegenwoordig echter kan men dat wél, en wanneer wij op die wijze de proeven van Pettenkofer omrekenen, zien wij dat het verschijnsel, zij het dan ook in mindere mate, blijft bestaan, en dat het juist het duidelijkst te voorschijn treedt bij een der proeven waar het temperatuurverschil nagenoeg constant bleef, ja zelfs een weinig toenam, terwijl alle toevallige openingen waren gesloten, en wij dus de minste reden hebben om een afname in grootte der natuurlijke ventilatie te verwachten. Slechts enkele latere onderzoekers hebben ditzelfde verschijnsel waargenomen. Men vindt het o. a. vermeld in een verhandeling van Forster en Voit[1])

[1]) Zeitschr. f. Biologie 13 (1877) s. 305. Studiën über die Heizungen in den Schulhäusern Münchens.

doch bij de weinig nauwkeurige opgaven van de heerschende temperatuurverschillen, valt uit hun proeven niets te besluiten.

Gedurende langen tijd nadat Pettenkofer zijn proeven had gepubliceerd, werden over de vrijwillige ventilatie van woonvertrekken geen nieuwe onderzoekingen verricht. Wel is waar werd door talrijke onderzoekers de grootte van de luchtwisseling bij allerlei vertrekken bepaald, doch nieuwe gezichtspunten over het wezen der natuurlijke ventilatie werden niet verkregen.

Van belang echter zijn de onderzoekingen van Märcker[1]), die voor stallen uitwerkte wat Pettenkofer voor woonvertrekken had gedaan. Hij vond dat de grootte van de natuurlijke luchtwisseling van een stal niet evenredig is met den inhoud daarvan, maar met het oppervlak der wanden en verder dat de luchtafvoer hoofdzakelijk plaats vindt door de zoldering heen, terwijl de luchttoevoer voornamelijk door de verticale wanden heen geschiedt. Terwijl Pettenkofer met behulp van de formule van Seidel, de grootte der luchtwisseling berekende uit de snelheid waarmede een zekere hoeveelheid koolzuur, die opzettelijk in het vertrek was gebracht, daaruit verdween, onder aanname dat tijdens de proef verder geen koolzuur in het vertrek werd gevormd, vinden wij in deze publicatie een door Kohlrausch opgestelde formule (die trouwens niet geheel juist is), waarin rekening wordt gehouden met het geval dat ook tijdens de proef koolzuur wordt ontwikkeld.

---

[1]) Märcker: Ueber den Kohlensäuregehalt von Stallluft und den Luftwechsel in Stallungen. Journ. f. Landwirthsch. 16 (1869) s. 224.

Märcker richtte zijn proeven namelijk zóó in, dat hij de voornaamste toevallige openingen van den stal, waarin zich steeds een aantal dieren bevonden, zoo goed mogelijk sloot, en na eenigen tijd bepaalde hoe hoog het koolzuurgehalte der lucht was. Daarop werd de stal weer in den oorspronkelijken toestand teruggebracht en na een zeker aantal uren ten tweeden male het koolzuurgehalte der lucht bepaald. Vond hij bij deze laatste bepaling. een even hoog koolzuurgehalte als de eerste maal, dan moest dus tijdens de proef, door de ademhaling der dieren, evenveel koolzuur zijn ontwikkeld, als tengevolge der luchtwisseling was verdwenen. Werd daarentegen, zooals gewoonlijk het geval was, bij de tweede bepaling minder koolzuur gevonden, dan was dus meer koolzuur weggevoerd dan gevormd. Daar zoowel de inhoud van den stal, als het koolzuurgehalte der binnenstroomende lucht bekend waren, en de hoeveelheid ontwikkeld koolzuur vrij nauwkeurig kon worden geschat, was het mogelijk uit deze gegevens en uit de resultaten der beide koolzuurbepalingen, de grootte der luchtwisseling te berekenen.

Daar Märcker aannam, dat de luchttoevoer geschiedde door de verticale wanden heen, en de luchtafvoer uitsluitend door de zoldering, was hij natuurlijk in staat te berekenen hoeveel lucht, onder de heerschende omstandigheden, per tijdseenheid door de eenheid van oppervlakte der wanden werd doorgelaten. Hij vond dat deze hoeveelheden aanzienlijk waren, doch in hooge mate afhankelijk van den aard van het materiaal, dat voor den bouw der wanden was aangewend. Later zal ik op deze cijfers terugkomen.

Ook uit de publicatie's van Märcker blijkt duidelijk

dat men destijds nog algemeen instemde met de bewering van Pettenkofer, dat het aller grootste deel van de in- en uitstroomende lucht, zijn weg vond door de poriën der wanden heen

Een drietal jaren later echter verscheen een verhandeling van Schürmann[1]), die de eerste uiting was van een verandering van zienswijze op het gebied der natuurlijke ventilatie.

In de allereerste plaats is deze publicatie van belang omdat door Schürmann de eerste poging wordt gedaan om, in plaats van de destijds nog tamelijk vage begrippen over de eigenlijke oorzaak der vrijwillige ventilatie, een meer exacte, mathematische behandeling van dit vraagstuk te geven. Zooals hij zelf zegt is het doel zijner verhandeling „auf die Möglichkeit einer mehr „mathematischen Behandlung der Frage der natürlichen „Ventilation hinzuweisen und die Rechnungen theilweise „auszuführen . . ."

Hoe belangwekkend echter zijn theorie destijds ook moge geweest zijn, thans is zij geheel verlaten. Van meer blijvend belang zijn Schürmann's proeven over de doorlaatbaarheid voor lucht van verschillende bouwmaterialen.

Met behulp van een aspirator zoog hij lucht door zijdelings luchtdicht afgesloten stukken materiaal, van verschillende dikte en oppervlak en vond bij deze proeven dat de hoeveelheid lucht, die in een zekeren tijd door een bepaald materiaal werdt doorgelaten, evenredig was

---

[1]) E. Schürmann, Ueber natürliche Ventilation und den Einfluss der Baumaterialien auf dieselbe. III Jahresb. der Chem. Centralstelle für öffentl. Gesundheitspflege in Dresden, 1874, s. 45.

met het oppervlak en omgekeerd evenredig met de dikte van het gebruikte stuk. Wat betreft de betrekking tusschen den aangewenden druk en de hoeveelheid doorgelaten lucht, meende hij te moeten besluiten dat daarvoor geen vaste regel was op te stellen. Nu eens vond hij dat het doorgelaten luchtvolume direct evenredig was met den druk, dan weer dat het evenredig was met de $^{6}/_{5}$ macht van dezen.

Het bleek bovendien dat de hoeveelheden lucht, die door verschillende poreuze materialen werden doorgelaten, zelfs bij niet onaanzienlijke drukkingen, zéér klein waren. Zij bedroegen nog niet één procent van de quantiteiten, die volgens zijn theorie noodig waren om de door Pettenkofer en Märcker gevonden ventilatiegrootheden te verklaren. Zeer nadrukkelijk wordt er dan ook op gewezen dat de cijfers, die voor de doorlaatbaarheid van stukken materiaal worden gevonden, niet onmiddellijk kunnen worden overgedragen op geheele wanden uit diezelfde stoffen vervaardigd.

Deze proeven over de doorlaatbaarheid voor lucht van verschillende poreuze stoffen, werden véél uitvoeriger herhaald door Lang.[1]). Diens manier van werken verschilde hierin van die van zijnen voorganger, dat hij de lucht onder een geringen, bekenden overdruk door het materiaal heenperste en het doorgelaten luchtvolume bepaalde, terwijl Schürmann de lucht door de stof heenzoog met een aspirator, en den tijd bepaalde die telkens voor het doorstroomen van een zekere hoeveelheid lucht noodig was.

---

[1]) C. Lang. Ueber die Porosität einiger Baumaterialien. Zeitschr. f. Biologie XI (1875) s. 313.

In overeenstemming met Schürmann vond Lang dat de hoeveelheden lucht, welke door een bepaalde stof worden doorgelaten, evenredig zijn met den tijd, met het oppervlak van het poreuze materiaal en omgekeerd evenredig met de dikte daarvan.

In tegenstelling met Schürmann echter vond hij dat het doorgelaten volume óók steeds recht evenredig is met den aangewenden overdruk. Noemen wij dus den heerschenden overdruk $P - P_1$, de dikte van het stuk poreuze stof D en de oppervlakte daarvan O, dan wordt in den tijd T, door dat stuk doorgelaten een hoeveelheid lucht

$$V = c \frac{P - P_1}{D} \times O \times T.$$

De constante c is afhankelijk van den aard van het gebezigde materiaal en stelt voor de hoeveelheid lucht die onder de eenheid van druk, in de eenheid van tijd wordt doorgelaten, door een kube met ribben van de eenheid van lengte. Deze constante noemde Lang de „doorlaatbaarheid" van de stof. Zij bedroeg onder anderen voor:

gegoten gips	0.045
klinkersteen	0.145
gedroogde mortel	0.907
baksteen	0.383
	0.087
	0.203
	0 132

De hierbij gebruikte eenheden waren kilogram, meter, uur en liter.

Later zijn de proeven van Lang, die werkte met

drukkingen van minstens 10 m.M. water, door Recknagel [1]) herhaald voor véél kleinere krachten.

Zoowel de wetten van de doorstrooming, als de getalwaarden voor de doorlaatbaarheid (of permeabiliteit) welke Lang had gevonden, werden door deze proeven bevestigd.

In dezelfde verhandeling geeft Recknagel de thans algemeen aangenomen mathematische theorie van het vraagstuk der natuurlijke ventilatie. Daar deze theorie in het vervolg herhaaldelijk zal moeten worden toegepast, acht ik het noodzakelijk haar hier weer te geven. Kortheidshalve echter, zal ik hier en daar eenigzins gewijzigde redeneeringen toepassen.

Stellen wij ons voor (Fig. 1) een gesloten ruimte A, waarvan alleen de verticale wand $a\,b$ voor gassen doordringbaar is, doch waarvan de overige wanden gasdicht zijn. Zij de temperatuur binnen A constant $T_1{}^0$ en de temperatuur der omringende lucht, eveneens constant $T_0{}^0$. Een voortdurende gaswisseling zal dan door den wand $a\,b$ heen plaatsgrijpen. Laten wij aannemen dat op een gegeven oogenblik de gasdruk bij a, aan weerszijden van den wand $a\,b$, gelijk is en bedraagt P mgr. per cM^2. Onderaan den wand bij b, heerscht dan aan de buitenzijde, een druk $P + p$, waarin p voorstelt het gewicht in milligrammen van een kolom lucht van $T_0{}^0$, van een hoogte $a\,b$ en een grondvlak van één cM^2. ; de druk bij b aan de binnenzijde bedraagt echter $P + p'$, waarin p' voorstelt het gewicht van eenzelfde luchtkolom doch van een temperatuur van $T_1{}^0$. Daar het soortelijk

---

[1]) Recknagel. Theorie des natürlichen Luftwechsels. Zeitschr. f. Biologie XV (1879) s. 1 ff.

gewicht van lucht afneemt met het toenemen der temperatuur, is het duidelijk dat zoolang T_0 en T_1 ongelijk zijn, ook de druk bij b aan de rechterzijde van den wand, een andere zal zijn dan die aan de linkerzijde. Is $T_0 > T_1$, dan zal de druk bij b aan de binnenzijde grooter zijn dan die aan de buitenzijde, terwijl het omgekeerde het geval zal wezen wanneer $T_0 < T_1$. In beide gevallen ontstaat dus bij b een overdruk die naar binnen of naar buiten is gericht, al naar mate T_0 lager of hooger is dan T_1. Evenzoo zal ook in elk ander punt van $a\,b$ een soortgelijke overdruk gevonden worden, waarvan de richting dezelfde is als van die bij b, terwijl de grootte ervan evenredig zal wezen met den afstand van het beschouwde punt tot a. Stellen wij dus den in b heerschenden overdruk naar richting en grootte voor door de lijn $b\,d$ en verbinden wij d met a, dan vinden wij den overdruk in een willekeurig punt x van $a\,b$, door in dat punt een loodlijn op te richten die $a\,d$ snijdt. De afstand van dit snijpunt tot x geeft dan, naar richting en grootte, den in x heerschenden overdruk aan.

Daar echter, zooals gezegd is, de wand $a\,b$ voor lucht doordringbaar is, zal tengevolge van het drukverschil dat op elk punt heerscht, lucht door den wand worden heengedreven en wel naar A toe, wanneer $T_0 < T_1$, en in omgekeerde richting, wanneer de temperatuur buiten hooger is dan die binnen A. Dit heeft tengevolge dat in het eerste geval de druk in A toeneemt, terwijl in het tweede geval de druk in A afneemt in grootte. In beide gevallen echter zal de overdruk die in elk punt van $a\,b$ bestaat verminderen en wel overal met dát bedrag, waarmede de druk in A is vermeerderd of verminderd. Gelijkheid van druk vinden wij dus niet meer

bij a, maar bij dát punt, waar de oorspronkelijk heerschende overdruk juist gelijk was aan de drukverandering in A, dus b. v. in een punt K. Boven en beneden dit punt vinden wij langs den wand tegengesteld gerichte krachten, die het ontstaan van tegengesteld gerichte luchtstroomen, door $a\,b$ heen, tengevolge hebben.

Het is duidelijk dat een stationaire toestand intreedt, wanneer de druk in A niet meer verandert en dus gelijke hoeveelheden lucht in denzelfden tijd de ruimte A binnenkomen en verlaten.

Hoe dan de verdeeling der krachten langs $a\,b$ zijn zal, hangt af van den aard van dezen wand. Is hij homogeen en overal even dik, of liever, laat elk gelijk oppervlaktedeel in denzelfden tijd en onder denzelfden druk een even groot volume lucht door, dan zal de evenwichtstoestand zijn bereikt, wanneer de druk $b\,d$, die oorspronkelijk bij b heerschte, juist tot op de helft is verminderd.

Bij b heerscht dan de overdruk $bf = {}^1/_2\,b\,d$, terwijl bij a een overdruk $a\,h = {}^1/_2\,b\,d$ is ontstaan, welke in tegengestelde richting werkt. Evenwicht heerscht dan in dát punt, waar de oorspronkelijke overdruk juist gelijk was aan ${}^1/_2\,b\,d$, dus in het punt c, gelegen op het midden van $a\,b$. Ieder deel van den wand daarbeneden, correspondeert met een evengroot wanddeel boven c, waar de heerschende overdruk juist even groot is, doch tegengestelde richting heeft. Daar wij de permeabiliteit van den wand overal gelijk hebben verondersteld, laat dus ook de geheele wand beneden c, in een willekeurigen tijd evenveel lucht door als het stuk dat boven c is gelegen.

Dit punt c nu, of liever de horizontale lijn langs den wand $a\,b$, die in het punt c door het vlak van teekening wordt gesneden, noemt men de *neutrale zône*. Het

is de eenige plaats van den wand waar aan beide zijden gelijkheid van druk bestaat en dus geen luchtwisseling door den wand heen plaats vindt.

Wij zien dan tevens in dat de grootte van den heerschenden overdruk op een willekeurig punt van den wand, behalve door het temperatuurverschil aan beide zijden, alleen bepaald wordt door den afstand van dat punt tot de neutrale zône, zoodat wij de grootte der ventileerende kracht op een zeker punt, berekend per eenheid van oppervlak, kunnen definieeren als het verschil in gewicht tusschen twee kolommen lucht met de eenheid van oppervlak tot grondvlak, den afstand van het punt tot de neutrale zône tot hoogte en van dezelfde temperaturen, als die welke aan beide zijden van den wand heerschen.

De grootte van deze kracht is voor ieder punt gemakkelijk te berekenen.

Zij de temperatuur aan de eene zijde van den wand T_1 en die aan de andere zijde T_0, het gewicht van 1 cM³. lucht van 0° en bij 760 mM. druk s mgr. en de barometerstand P, dan is het gewicht van 1 cM³. lucht aan de eene zijde van den wand:

$$\frac{s}{1+\alpha T_0} \times \frac{P}{760} = s_0 \text{ [1]}$$

en aan de andere zijde:

$$\frac{s}{1+\alpha T_1} \times \frac{P}{760} = s_1$$

---

[1]) Dit is eigenlijk niet volkomen juist, daar het soortelijk gewicht der lucht verandert met de hoogte, en wij dus niet van *het* soortelijk gewicht der lucht spreken kunnen. Zoolang echter h niet zeer groot is kunnen wij deze fout gerust verwaarloozen.

Zij verder de hoogte van den wand h cM. en de neutrale zône gelegen op de hoogte $x\,h$ $(x < 1)$ boven den vloer, dan is de druk onderaan den wand aan de eene zijde: $P + x\,h \times s_1$ mgr. per cM^2. en aan de andere zijde: $P + x\,h \times s_0$, zoodat de heerschende overdruk is: het verschil van deze beiden $= x\,h\,(s_0 - s_1)$ dat is dus

$$x\,h \times \frac{P}{760} \times s \times \left(\frac{1}{1+\alpha\,T_0} - \frac{1}{1+\alpha\,T_1}\right)$$

of, als wij de termen met α^2 verwaarloozen:

$$x\,h \times \frac{P}{760} \times s \times \frac{T_1 - T_0}{273 + T_0 + T_1} \qquad 1)$$

Op dezelfde wijze vinden wij voor den overdruk bovenaan den wand:

$$(1 - x)\,h \times \frac{P}{760} \times s \times \frac{T_0 - T_1}{273 + T_0 + T_1} \qquad 2)$$

Wij zien uit deze formules dat het teeken van den overdruk afhangt van de relatieve grootte van T_0 en T_1: daardoor wordt dus de richting van de ventileerende krachten bepaald. Beide formules krijgen dezelfde waarde doch met tegengesteld teeken, als $x = \frac{1}{2}$, dat wil zeggen dat de krachten, die boven- en onderaan den wand werken, even groot, doch tegengesteld gericht zijn, als de neutrale zône op de helft van de hoogte is gelegen.

Om een denkbeeld te geven van de grootte der krachten die de natuurlijke ventilatie doen tot stand komen, laat ik hier volgen de getalwaarden voor de formule 1) wanneer $x\,h = 100$, $P = 760$, $(T_1 - T_0) = 1$ tot 30, en T_0 : — 15, — 10, — 5, 0, + 5 enz. uitgedrukt in kilogrammen per vierkante Meter (= mM. waterdruk).

$T_1 - T_0$	T_0=−15	− 10	− 5	0	+ 5	+ 10	+ 15
1	0.0053	0.0051	0 0049	0.0047	0.0046	0.0044	0.0043
2	105	101	97	94	91	88	85
3	158	151	146	141	136	131	127
4	209	201	194	187	180	174	168
5	261	251	241	233	224	217	210
6	312	300	288	278	268	259	251
7	362	348	335	323	312	302	292
8	412	396	382	368	355	344	333
9	462	444	428	413	398	385	373
10	511	491	473	457	441	426	413
11	560	539	519	501	484	468	453
12	608	585	564	544	526	509	493
13	657	632	609	588	568	549	532
14	704	678	653	631	609	590	571
15	752	724	698	673	651	630	610
16	799	769	741	716	692	669	649
17	845	814	785	758	733	709	687
18	892	859	828	800	773	748	725
19	938	903	871	841	813	787	763
20	983	947	914	883	853	826	801
21	1029	991	956	924	893	865	839
22	1074	1034	998	964	933	903	875
23	1118	1077	1040	1005	972	941	912
24	1162	1120	1081	1045	1011	979	949
25	1206	1163	1123	1085	1049	1016	985
26	1250	1205	1163	1124	1088	1054	1022
27	1293	1247	1204	1164	1126	1091	1058
28	1336	1288	1244	1203	1164	1128	1094
29	1378	1330	1284	1241	1202	1164	1129
30	1421	1371	1324	1280	1239	1201	1165

Hebben wij dus b.v. een vertrek, waarbinnen de temperatuur 18° C. is, terwijl de temperatuur der buitenlucht — 5° bedraagt, dan is: $T_0 = -5°$, $(T_1 - T_0) = 23°$. Voor de ventileerende kracht op 100 cM. afstand van de neutrale zône vinden wij 0.104 mM. waterdruk. Is het vertrek b. v. 4 M. hoog en ligt de neutrale zône op $^3/_4$ van de hoogte, dan is $x\,h = {}^3/_4 \times 4 = 3$ M., zoodat de ventileerende kracht bij den vloer is: $3 \times 0.104 = 0.312$ mM. waterdruk.

Volkomen dezelfde redeneering, die wij tot nu toe gevolgd hebben voor één verticalen wand, geldt natuurlijk even goed voor elk der andere opstaande wanden, wanneer wij ons die, in plaats van gasdicht, voor gassen permeabel voorstellen.

Wat vloer en zoldering betreft zij opgemerkt, dat de gasdruk binnen de afgesloten ruimte, in ieder horizontaal vlak, een gelijke, althans nagenoeg gelijke grootte hebben moet en dat dus in de luchtlagen binnen *A*, grenzende aan *b v* en *a z* dezelfde drukkingen heerschen als aan de binnenzijde bij *b* en *a*. Hetzelfde geldt natuurlijk voor de grenslagen aan de buitenzijde, zoodat dezelfde krachten, die bij de punten *b* en *a* de luchtverplaatsing in horizontalen zin teweegbrengen, de lucht in verticale richting door vloer en zoldering zullen drijven, wanneer deze voor lucht doordringbaar zijn.

Natuurlijk blijft ook in het geval dat alle wanden voor gassen permeabel zijn, de voorwaarde van kracht, dat beneden de neutrale zône in een willekeurigen tijd evenveel lucht moet binnentreden of wegstroomen, als in denzelfden tijd wordt doorgelaten door het deel der wanden dat boven de neutrale zône gelegen is. Zijn dus alle wanden permeabel en onderling gelijk dan zal

het zonder meer duidelijk zijn, dat de neutrale zône op de helft van de hoogte is gelegen. Ditzelfde blijft het geval, wanneer de doorlaatbaarheid der wanden symetrisch is ten opzichte van een horizontaal vlak op de halve hoogte. Ieder wanddeel beneden dit vlak correspondeert dan met een even groot deel van den wand daarboven, waar dezelfde ventileerende kracht werkt, en de permeabiliteit evengroot is. Dientengevolge zal ook een verandering in de permeabiliteit van één of meer der verticale wanden over de geheele oppervlakte, geen verandering brengen in de ligging der neutrale zône en evenmin een gelijktijdige, even groote verandering van permeabiliteit van den vloer en de zoldering.

Anders wordt het, wanneer wij aan één zijde van de neutrale zône de permeabiliteit der wanden grooter of kleiner maken.

Wanneer wij ons in dat geval de plaats der neutrale zône een oogenblik op de helft der hoogte denken, zal de hoeveelheid lucht, die in de eerste oogenblikken het vertrek binnenstroomt, ongelijk zijn aan de hoeveelheid, die in denzelfden tijd het vertrek verlaat. Is de instroomende hoeveelheid lucht grooter, dan zal de druk binnen het vertrek toenemen, terwijl daarentegen de druk afneemt, wanneer de wegstroomende hoeveelheid lucht grooter is dan de hoeveelheid die binnenkomt. Met hetzelfde bedrag waarmede de druk verandert, veranderen ook alle ventileerende krachten. Dientengevolge vinden wij geen evenwicht meer op de halve hoogte van het vertrek, maar op een andere horizontale lijn, die boven of beneden de vroegere neutrale zône is gelegen. De stationaire toestand is weer bereikt, als de druk binnen het vertrek zóóveel is veranderd,

dat een neutrale zône is ontstaan op een zoodanig gelegen plaats, dat de luchtverplaatsing door de wanden daarbeneden, weer even groot is als die, welke door het bovengelegen deel der wanden plaatsgrijpt.

Iets dergelijks heeft plaats, wanneer wij slechts van een deel van het wandoppervlak aan ééne zijde der neutrale zône, de permeabiliteit veranderen.

Zij (fig. 2) van het vertrek $A\,B\,C\,D$, gevormd door onderling gelijke, poreuze, wanden, de temperatuur binnen, hooger dan die daarbuiten. De neutrale zône $N\,Z$ is dan op de helft van de hoogte gelegen en bij den vloer en de zoldering werken ventileerende krachten, die naar richting en grootte worden voorgesteld door K_1.

Brengen wij in het midden van dat vertrek een ondoordringbaren verticalen wand $E\,F$ aan, dan zal dit nòch in de grootte der plaatsgrijpende luchtwisseling, nòch in de verdeeling der ventileerende krachten eenige verandering brengen, omdat de grootte dezer krachten, evenmin als de permeabiliteit der wanden daardoor een wijziging ondergaat. Nu maken wij echter het wanddeel $Z\,D$ minder permeabel; zooals wij vroeger zagen, verplaatst zich de neutrale zône in het deel $E\,B\,D\,F$ daardoor naar boven en komt bijvoorbeeld te liggen bij $H\,K$, zoodat bij vloer en zoldering respectievelijk de krachten K_3 en K_2 ontstaan. Daar $E\,F$ voor lucht ondoordringbaar is, verandert door dit alles de toestand in het andere deel van het vertrek in het geheel niet.

Beschouwen wij de drukkingen, die nu rechts en links van den wand $E\,F$ bestaan, dan zien wij dat bij F, rechts van den wand, een druk bestaat, welke K_3 kleiner is dan die van de buitenlucht. Links van den wand echter

heerscht een druk, die K_1 minder is dan de druk buiten. Maken wij dus bij F een opening in den wand EF, dan zal, daar K_3 grooter is dan K_1, lucht van links naar rechts stroomen. Maken wij een dergelijke opening bij E dan zal daardoorheen een luchtverplaatsing in dezelfde richting plaatsvinden, omdat de buitenwaarts gerichte overdruk K_1, links van E, grooter is dan de gelijkgerichte overdruk K_2 aan de rechterzijde van E.

Tengevolge van het toestroomen der lucht door deze openingen, zal de druk in het stuk $EBDF$ toenemen en de neutrale zône dalen; tegelijkertijd echter wordt de druk in het deel $AEFC$ kleiner, zoodat de neutrale zône dáár, zich naar boven verplaatst. Tevens worden de verschillen tusschen K_1 en K_3, K_1 en K_2 daardoor minder groot.

Maken wij de openingen in den wand EF grooter, dan zal meer lucht van links naar rechts kunnen toestroomen en zullen dus de verschillen tusschen de genoemde krachten, meer en meer worden vereffend. Tegelijkertijd naderen de neutrale zônes rechts en links van EF, meer en meer tot dezelfde hoogte. Denken wij ons ten slotte den geheelen wand EF verwijderd, dan komen de neutrale zônes weer in één vlak te liggen, midden tusschen HK en NZ. Langs den geheelen vloer heerscht dan een overdruk $\frac{1}{2}(K_1 + K_3)$, en langs de zoldering een overdruk $\frac{1}{2}(K_1 + K_2)$. Slechts een uitermate gering drukverschil blijft nog bestaan, juist groot genoeg om de luchtbeweging, die binnen het vertrek in horizontale richting plaatsvindt, in stand te houden.

Het zal duidelijk zijn, dat wanneer de permeabiliteit van het deel DZ grooter wordt gemaakt dan die van

de overige wanden, de neutrale zône beneden de oorspronkelijke plaats zal komen te liggen. Ook in dat geval echter vindt binnen het vertrek luchtverplaatsing in horizontalen zin plaats.

Tevens kunnen wij uit de voorgaande redeneering nog opmerken, dat de neutrale zône van een vertrek steeds in een horizontaal vlak gelegen zal zijn.

Wij hebben bij alle tot nu toe gebezigde redeneeringen steeds aangenomen, dat de beschouwde ruimte aan alle zijden door buitenlucht was omgeven : dat dus de temperatuurverschillen bij elken wand even groot waren en dat de lucht onbelemmerd kon toe- en afstroomen. Bij normale woonvertrekken evenwel, is dit bijna nooit het geval, daar meestal eenige wanden de afscheiding vormen met andere afgesloten ruimten, waar andere temperaturen heerschen dan in de vrije lucht en waar de luchttoevoer of -afvoer in meerdere of mindere mate wordt belemmèrd. Zelfs een korte behandeling van de daarop betrekking hebbende theorie, zou mij echter te ver van het eigenlijke onderwerp van dit proefschrift afvoeren, zoodat ik mij ertoe zal bepalen met naar de oorspronkelijke verhandeling te verwijzen [1]); te meer, omdat tot goed begrip van het volgende, niet meer van de theorie der natuurlijke ventilatie noodig is, dan tot hiertoe is behandeld.

---

[1]) Recknagel. Zeitschr. f. Biologie, Bnd. XV (1879).

B. De bepaling der natuurlijke ventilatie.

Men kent twee principieel verschillende methoden om de grootte van de natuurlijke ventilatie van een vertrek te leeren kennen. De oudste en meest gebruikelijke methode is die, welke reeds door Pettenkofer is aangegeven. Men mengt daartoe een willekeurige hoeveelheid koolzuur met de lucht van het vertrek en berekent uit de snelheid, waarmede dit gas uit het vertrek verdwijnt, de grootte der luchtwisseling, die in het vertrek plaats heeft.

Wanneer wij aannemen, zooals bij de theorie van Recknagel geschiedt, dat de luchtwisseling uitsluitend wordt veroorzaakt door krachten, die het gevolg zijn der heerschende temperatuurverschillen, dan zullen dus, zoolang deze verschillen niet veranderen, de ventileerende krachten dezelfde blijven, zoodat ook de hoeveelheid lucht, die in een willekeurigen tijd het vertrek binnenstroomt, steeds gelijk zal moeten zijn aan de hoeveelheid, die in elken anderen, even langen tijd het vertrek binnenkomt, hoe lang of hoe kort wij dien tijd ook kiezen.

Wanneer, zooals gewoonlijk het geval is, de temperatuur binnen het vertrek, hooger is dan die daarbuiten, stroomt de lucht naar binnen door dát deel der wanden, dat beneden de neutrale zône is gelegen. Binnen het

vertrek gekomen, wordt deze lucht verwarmd en stijgt naar boven, plaats makend voor een nieuw binnentredende luchtmassa en verlaat het vertrek weer door het gedeelte der wanden, dat boven de neutrale zône is gelegen.

Het blijkt echter, dat van een verdringen van de kamerlucht door de instroomende buitenlucht, geen sprake kan wezen. Wij zagen vroeger reeds, dat verschillen in permeabiliteit der verschillende wanden, het ontstaan van horizontaal gerichte luchtstroomen tengevolge kunnen hebben. Deze stroomingen nu, en die welke het gevolg zijn van geringe plaatselijke temperatuurverschillen, welke steeds in een vertrek bestaan, maken, dat iedere hoeveelheid lucht, die het vertrek binnenkomt, nagenoeg volledig over de gansche ruimte daarvan wordt verdeeld. Wanneer wij dus uit het afnemen van het gehalte der kamerlucht aan een of ander gas, willen berekenen hoe groot de luchtwisseling is, die door temperatuurverschillen wordt veroorzaakt, mogen wij, zoolang de temperaturen, binnen het vertrek en daarbuiten constant blijven, aannemen dat de hoeveelheid instroomende lucht, in verschillende, willekeurige, even groote tijdsdeelen steeds gelijk is en dat elke instroomende hoeveelheid onmiddellijk volledig over het geheele vertrek wordt verspreid.

Noemen wij :

den inhoud van het vertrek I
de aanvankelijke concentratie van het indicatorgas . c_0
„ concentratie daarvan na een tijd t c
„ „ „ van het indicatorgas in de buitenlucht c_b
„ hoeveelheid lucht, die per tijdseenheid het vertrek binnenkomt V

(Onder concentratie worde steeds verstaan het aantal voluumprocenten.)

Wij zullen nu nagaan de veranderingen, die, op een willekeurig tijdstip, gedurende een oneindig kleinen tijd dt, plaatsgrijpen.

In dien tijd stroomt het vertrek binnen een volumen buitenlucht $V\,dt$, waarin een hoeveelheid indicatorgas $\frac{V\,dt}{100} \times c_b$ aanwezig is.

In dienzelfden tijd verlaat ook een evengroot gasvolumen het vertrek, waarmede dus een hoeveelheid indicatorgas $\frac{V\,dt}{100} \times c$ uit het vertrek weggaat.

De verandering in de aanwezige hoeveelheid indicatorgas is dus na den tijd dt:

$$-\frac{V\,dt}{100}(c - c_b).$$

Door vermenigvuldiging met $\frac{100}{I}$ vinden wij hieruit de verandering in de concentratie.

Deze is dus:

$$dc = -\frac{V}{I}\,dt\,(c - c_b)$$

zoodat

$$dt = -\frac{I}{V}\frac{dc}{c - c_b}.$$

Als wij deze vergelijking integreeren, krijgen wij:

$$t = -\frac{I}{V}\,log.\,nat.\,(c - c_b) + K,$$

waarin K een constante is.

Voor $t = o$, dus bij den aanvang der proef, is c gelijk aan de beginconcentratie c_0, zoodat

$$o = -\frac{I}{V}\,log.\,nat.\,(c_0 - c_b) + K.$$

Hieruit volgt

$$K = \frac{I}{V} \log. nat. (c_0 - c_b).$$

Deze waarde in de vorige vergelijking substitueerend, vinden wij

$$t = -\frac{I}{V} \log. nat. (c - c_b) + \frac{I}{V} \log. nat. (c_0 - c_b)$$

$$t = \frac{I}{V} \log. nat. \frac{(c_0 - c_b)}{(c - c_b)}$$

of $$\frac{c_0 - c_b}{c - c_b} = e^{\frac{V}{I} t}$$

dezelfde formule dus, die door Seidel werd opgesteld

De grootheid $\frac{V}{I}$, die dus de verhouding voorstelt van de hoeveelheid lucht, die per tijdseenheid in (en uit-) stroomt, met den inhoud van het beschouwde vertrek, noemt men de „natuurlijke ventilatie" van dat vertrek, in engeren zin.

Bij de afleiding van deze formule, is geen enkele veronderstelling gemaakt over de wijze, waarop de luchtwisseling tot stand komt, noch over den aard van het gebezigde indicatorgas. Zij is dus in alle gevallen toe te passen, waar het beschouwde gas op geen andere wijze dan door de luchtwisseling verdwijnt en de hoeveelheid instroomende lucht gelijk is aan de hoeveelheid, die het vertrek verlaat. Door dus van een willekeurig gas c_0, c, c_b te bepalen kan men, t kennende, voor het beschouwde vertrek $\frac{V}{I}$ berekenen.

De tweede methode tot bepaling van de grootte der natuurlijke ventilatie van een vertrek, volgt onmiddellijk uit de theorie van Recknagel. Het is duidelijk, dat men de grootte en verdeeling der ventileerende krachten

kan bepalen, wanneer men zoowel de heerschende temperatuurverschillen, als de ligging der neutrale zône kent. Het eerste, de bepaling der verschillen in temperatuur, levert natuurlijk geen bezwaren op en ook de ligging der neutrale zône kan worden bepaald, met behulp van den, door Recknagel geconstrueerden, differentiaalmanometer [1]). Ook kan de grootte der ventileerende krachten daarmêe langs experimenteelen weg bepaald worden.

Daar verder de proeven van Lang en anderen ons getalwaarden verschaffen, aangaande de hoeveelheden lucht, die bij een gegeven druk door een poreuzen wand kunnen heenstroomen, heeft men alle gegevens om de grootte der natuurlijke luchtwisseling te kunnen berekenen.

Inderdaad zijn deze berekeningen uitgevoerd en de uitkomsten vergeleken met de cijfers, die voor de natuurlijke ventilatie langs den directen weg, met behulp van koolzuurbepalingen, verkregen waren.

Het bleek echter, dat deze in bijna geen enkel geval ook maar bij benadering overeenstemden.

Recknagel zelf maakt daarop opmerkzaam en ook in vele na dien tijd verschenen publicatie's en handboeken [2]) wordt met nadruk op dit feit gewezen.

Een enkel voorbeeld ter opheldering moge voldoende zijn.

Pettenkofer vond bij een zijner proeven, bij een temperatuurverschil van 20°, een luchtwisseling van 95

[1]) Deutsche Vierteljahrschrift für öffentl. Gesuntheitspflege, Bnd. XVII (1885) s. 73.

[2]) O. a. Pettenkofers Handbuch der Hygiëne, I Theil, 2e Abt. 4tes Heft, Die Wohnung s. 96.

M^3. per uur, bij een vertrek, waarvan de inhoud bedroeg 3000 kubieke (beiersche) voet d. i. ongeveer 75 M^3.; dat wil dus zeggen, dat in één uur 95 M^3. lucht naar binnen stroomden, terwijl tegelijkertijd een even groot volumen lucht het vertrek verliet.

Veronderstellen wij nu dat het vertrek 5 Meter hoog is geweest (welke groote hoogte voor het tot stand komen eener krachtige natuurlijke ventilatie zeer bevorderlijk is) en dus vloer en zoldering elk b. v. 3 × 5 Meter, dan was het totaal oppervlak der verticale wanden 5 × 16 M^2.

Nemen wij verder aan, dat alle wanden waren gemaakt van het meest poreuze materiaal dat door L a n g is onderzocht. Dit was z. g. kalktufsteen en bezat een doorlaatbaarheid van 0.008 d. w. z. dat een wand van dit materiaal vervaardigd en 1 M. dik, bij een druk van 1 KG. per M^2. per uur 0.008 M^3. lucht door elke vierkante Meter oppervlak laat passeeren.

Veronderstellen wij ten slotte dat de wanden slechts 10 cM. dik waren en dat de neutrale zône op de helft van de hoogte was gelegen.

Daar de overdruk bij den vloer bij het heerschende temperatuurverschil van 20° hoogstens bedroeg (zie blz. 16): 2.5 × 0.0983 = 0.2457 KG. per M^2. werd dus per uur door den vloer doorgelaten: 0.295 M^3. en door de gezamenlijke verticale wanden beneden de neutrale zône: 0.393 M^3. [1])

Wij vinden dus voor de totale luchtwisseling 0.295 + + 0.393 = 0.688 M^3. per uur, in plaats van de 95 M^3. die uit de afname van het koolzuurgehalte werden berekend

[1]) In de formule van blz. 10 wordt voor deze twee berekeningen: $c = 0.008$, $D = 0{,}1$ $P - P_1$ resp.: 0.2457 en 0.5 × 0.2457, O resp.: 15 en 2.5 × 16.

en dat niettegenstaande wij bij deze berekening, de voor de natuurlijke ventilatie meest gunstige omstandigheden hebben verondersteld.

Uit dit voorbeeld, dat zonder veel moeite met vele anderen zou kunnen worden vermeerderd, blijkt de schijnbare tegenstrijdigheid van theorie en praktijk.

In direct verband hiermede, staat natuurlijk het feit dat de getalwaarden voor de doorlaatbaarheid der wanden enorm veel grooter zijn, wanneer zij worden berekend uit werkelijk waargenomen ventilatiecijfers, dan wanneer zij, zooals Lang deed, door afzonderlijke proeven worden bepaald.

Zoo geeft Märcker[1]) b.v. op, dat door wanden van twee voet dik, per uur en per vierkante Meter, de volgende hoeveelheden lucht tengevolge der natuurlijke ventilatie heendrongen:

Sandstein	1.69	M^3.
Kalkbruchstein	2.32	„
Backstein	2.83	„
Kalktuffstein	3.64	„
Lehmstein	5.12	„

Dit zijn getallen, die tot de cijfers van Lang en Recknagel in dezelfde wanverhouding staan, als de werkelijk gevonden cijfers voor de natuurlijke ventilatie van een vertrek, tot die, welke langs theoretischen weg zijn gevonden.

Nu zijn ongetwijfeld vele van de proeven, die tot dergelijke zonderlinge resultaten leidden, genomen onder zoodanige omstandigheden, dat het niet de heerschende temperatuurverschillen alléén waren, die de luchtwisse-

[1]) Märcker, Ueber den Luftwechsel in Stallungen etc. Landwirthschaftl. Versuchsstat. XIV (1871) s. 429

ling deden tot stand komen. Als men bijvoorbeeld bedenkt, welken grooten invloed de wind op de grootte van de natuurlijke ventilatie van een vertrek kan uitoefenen, zal het duidelijk zijn, dat bij alle proeven, die bij eenigszins krachtigen wind zijn genomen, de Recknagelsche theorie niet zoo maar, zonder meer, kan worden toegepast. Hetzelfde geldt natuurlijk voor alle vertrekken met open, of onvoldoend gesloten schoorsteenopeningen, ondichte vloeren, gebroken vensters, enz., enz. In al die gevallen is het onmogelijk, dat de theoretische waarde voor de natuurlijke ventilatie met de praktisch gevondene kán overeenstemmen, daar, òf de ventileerende krachten, òf de doorlaatbaarheid dezer wanden anders waren dan bij de theorie is voorgesteld.

Er zijn, zooals begrijpelijk is, pogingen gedaan om theorie en praktijk met elkaar in betere overeenstemming te brengen. Als eerste poging daartoe, zouden wij kunnen beschouwen de proef van Pettenkofer, toen hij de grootte van de natuurlijke ventilatie van een vertrek bepaalde, nadat hij alle kieren van vensters en deuren zorgvuldig had dichtgeplakt. Als resultaat hiervan echter kreeg hij de overtuiging, dat het grootste deel der luchtwisseling juist door de wanden heen plaats vond.

Later zijn deze proeven door anderen herhaald. Zoo vermeldt b. v. Emmerich[1]) een door Flügge genomen experiment, waarbij de grootte van de natuurlijke ventilatie van een bepaald vertrek, van 15 M^3. per uur, daalde tot 6.5 M^3., wanneer alle kieren van vensters en deuren zorgvuldig met papier waren dicht-

[1]) Pettenkofers Handbuch der Hygiëne I, 2te Abt., 4 Heft, s. 97.

geplakt en deze papierstroken bovendien nog met gesmolten paraffine waren bestreken.

Voorzeker is hier de vermindering der ventilatie aanzienlijk, doch daarbij dient in het oog te worden gehouden, dat de oorspronkelijke waarde van 15 M^3. per uur, slechts gering is.

De omstandigheden, waaronder de proef werd genomen, waren dus voor het tot stand komen eener krachtige natuurlijke ventilatie blijkbaar ongunstig, terwijl een cijfer van 6.5 M^3. per uur, toch nog bijna tien maal grooter is, dan de theoretische luchtwisseling van een vertrek, waar het maximum van temperatuurverschil met de buitenlucht heerscht en de wanden van het meest permeabele materiaal zijn vervaardigd.

Zonder veel moeite zouden nog meer dergelijke proeven kunnen worden aangehaald. Bij allen echter blijft dezelfde abnormale verhouding bestaan.

Reeds uit de wijze waarop de zooeven vermelde proef van Flügge was ingericht, blijkt, dat men de oorzaak van het vinden van „abnormale" ventilatiegrootheden, in de allereerste plaats zoekt, in de aanwezigheid van toevallige openingen, door het onvoldoende sluiten van vensters en deuren. Uit het resultaat van dergelijke proeven evenwel blijkt, dat wanneer die openingen zoo nauwkeurig mogelijk worden gesloten, de in werkelijkheid gevonden luchtwisseling toch nog geenszins met de theoretische overeenstemt. Het verschil dat daartusschen blijft bestaan, schrijft men toe aan de aanwezigheid van barsten en scheuren in het metselwerk der wanden. Ongetwijfeld zullen deze een grooten invloed op de natuurlijke ventilatie kunnen uitoefenen, doch het is niet zeker of die invloed groot genoeg kan zijn, om

daarmede de bestaande verschillen te kunnen verklaren. In elk geval zijn over de permeabiliteit van werkelijke muren nooit proeven genomen, zoodat ook nooit het experimenteel bewijs voor het bestaan van een abnormaal groote permeabiliteit is geleverd.

Een mogelijkheid, die men, voor zoover mij bekend is, nimmer onder het oog heeft gezien, is deze : dat de oorzaak van de slechte overeenstemming tusschen de berekende en de gevonden waarde voor de natuurlijke ventilatie, niet aan bovengenoemde redenen is toe te schrijven, maar, althans voor een deel, gelegen is in de manier, waarop men in de praktijk gewoon is deze grootheid te bepalen.

De beschrijving van de daarbij gebruikelijke methode van werken laat ik hier volgen ; zij is woordelijk overgenomen uit een proefschrift dat voor enkele jaren is verschenen [1]).

»Voordat men met de proefneming begint, moeten »alle mogelijke ventilatieinrichtingen, b. v. kleppen in »schoorsteenen, nauwkeurig worden gesloten. Dit is »echter niet altijd mogelijk, vooral wanneer men te »doen heeft met toevallige ventilatieinrichtingen, zooals »gaten in muren, slecht gesloten voegen in zolder en »bodem.

»Men begint nu met koolzuur te ontwikkelen, liefst »zooveel, dat het gehalte eenige procenten is en ver»wijdert vervolgens den koolzuurcylinder uit het lokaal. »Dit is daarom noodzakelijk omdat, zelfs wanneer de »kraan van den cylinder gesloten is, kleine hoeveel»heden koolzuur kunnen ontsnappen.

[1]) S w a a b. De natuurlijke ventilatie van kleine woonvertrekken te Amsterdam. Diss. 1901, Amsterdam.

»Met groote schermen van bordpapier, wordt nu het »gas gelijkmatig verdeeld. Vervolgens wordt de kamer- »temperatuur genoteerd, tijd opgenomen en twee flesschen »met lucht gevuld. Om zich te verwijderen opent men »de deur zoo weinig mogelijk; daarna sluit men alle »toegangen af. Wanneer nu nog de temperatuur van »de buitenlucht en de barometerstand zijn opgenomen, »is het eerste deel van de proef afgeloopen. Na eenigen »tijd komt men terug, vult dan weer twee flesschen »met lucht en noteert de noodige temperaturen en baro- »meterstand.

»Men verkrijgt dus als gegevens: het koolzuurgehalte »aan het begin en aan het einde der proef, den tijd »(uren) en de gemiddelde temperaturen van het vertrek »en van de buitenlucht. Daar het koolzuurgehalte der »buitenlucht op 0.4 $^0/_{00}$ wordt aangenomen, kan men »dus x berekenen."

Onder x wordt verstaan de natuurlijke ventilatie in engeren zin (blz. 25).

Deze methode is dus nog volkomen dezelfde, als in 1858 door Pettenkofer werd aangegeven, alleen gemoderniseerd, wat betreft de wijze van koolzuurontwikkeling. Pettenkofer deed dit uit bicarbonaat en zwavelzuur, thans geschiedt het uit een cylinder vloeibaar koolzuur.

Juist het feit dat voor dergelijke proeven altijd koolzuur als indicatorgas wordt gebruikt, valt bij deze manier van werken in de eerste plaats op. De reden daarvan is, behalve de historische, natuurlijk deze, dat dit gas zeer snel en gemakkelijk in iedere hoeveelheid kan worden ontwikkeld en vooral ook dat het met zeer groote nauwkeurigheid, op eenvoudige wijze, in de lucht

kan worden bepaald, op de wijze die door Pettenkofer zelf is aangegeven [1]).

Daartegenover staat echter het volgende:

De natuurlijke ventilatie van een vertrek komt tot stand, tengevolge van het verschil in soortelijk gewicht van de lucht binnen in het vertrek, met dat van de buitenlucht, voor zoover dat door temperatuurverschillen wordt veroorzaakt of wel door andere oorzaken, die normaal in een woonvertrek voorkomen. Zoodra wij echter in het specifiek gewicht der lucht binnen het vertrek, op een of andere wijze verandering brengen, oefenen wij daardoor invloed uit op de grootte der ventileerende krachten en zal dus ook de grootte der natuurlijke ventilatie een verandering ondergaan. Dit geschiedt altijd, bij de gebruikelijke methode van bepalen van deze grootheid. Door het mengen van koolzuur met de lucht, krijgen wij binnen het vertrek een gasmengsel van abnormaal soortelijk gewicht, zoodat noodzakelijk een foutief cijfer voor de natuurlijke ventilatie zal gevonden worden. De vraag is slechts of de hierdoor veroorzaakte fout, binnen of buiten de grenzen der gewone waarnemingsfouten ligt.

Een tweede vraagpunt dat zich voordoet, naar aanleiding van het gebruik van koolzuur als indicatorgas, is, of het door zijn chemische geaardheid daarvoor wel geschikt is. Het koolzuur toch is niet zoo indifferent, dat men in alle gevallen met zekerheid kan zeggen dat het uitsluitend tengevolge der ventilatie, uit de lucht van een vertrek zal verdwijnen. Het feit alleen, dat het gas tamelijk gemakkelijk oplosbaar is in water, is reeds

[1]) Ueber den Luftwechsel etc. s. 1 f.f.

voldoende om ons omstandigheden te doen denken, waaronder de resultaten met koolzuur als indicatorgas verkregen, op zijn minst genomen, onbetrouwbaar zullen zijn.

Ten slotte rijst de vraag, hoe groot de invloed der diffusie zal zijn, op de snelheid, waarmede het indicatorgas uit de atmospheer van een vertrek verdwijnt. Op een enkele uitzondering na [1]), glijden alle auteurs vluchtig over deze quaestie heen, zonder nader bewijs aannemend, dat deze factor zonder bezwaar kan worden verwaarloosd. Ook Märcker gaat alleen na, in hoeverre de diffusie er toe zou kunnen bijdragen, de opeenhooping van uitgeademd koolzuur in een vertrek te voorkomen, maar berekent niet hoe groot de fout wezen zal, die daardoor in alle bepalingen der natuurlijke ventilatie schuilen moet.

Daar komt nog bij, dat alle proeven over de diffusie van koolzuur of van andere gassen, door poreuze wanden heen, steeds zijn genomen met kleine stukken materiaal. Om het bestaan van ventilatiegrootheden te verklaren, zooals uit de koolzuurbepalingen worden berekend, neemt men echter aan, dat de porositeit van geheele wanden, een veel grootere is, dan die van kleine stukjes van het materiaal, waaruit deze wanden zijn samengesteld. Indien dit in werkelijkheid zoo is, zal natuurlijk ook de snelheid, waarmede het koolzuur door een dergelijken wand diffundeert, een veel grootere zijn, dan experimenteel aan kleine stukken materiaal is bepaald en heeft men dus mijns inziens, op grond van de tot nu toe verrichte diffusieproeven, niet het recht,

[1]) Märcker. Zie blz. 40.

zonder nader bewijs, den invloed der diffusie bij de bepaling der natuurlijke ventilatie, buiten beschouwing te laten.

Naar aanleiding van het voorgaande, komt het mij dus niet overbodig voor, na te gaan in hoeverre het aanbeveling verdient, bij de bepaling der natuurlijke ventilatie, een ander gas dan juist koolzuur als indicatorgas aan te wenden, te onderzoeken of met behulp van een andere gassoort ook andere waarden voor de natuurlijke ventilatie worden gevonden, en ook den invloed der diffusie nauwkeuriger na te gaan dan tot nu toe is geschied.

HOOFDSTUK II.

Invloed der diffusie en van het specifiek gewicht van het indicatorgas bij de bepaling der natuurlijke ventilatie.

Bij de bepaling der natuurlijke ventilatie van een woonvertrek, werken, zooals wij zagen, drie oorzaken samen om het gebezigde indicatorgas uit de atmospheer van het onderzochte vertrek te doen verdwijnen. En wel :

1°. de verschillen in soortelijk gewicht, die door temperatuurverschillen worden veroorzaakt,

2e. de verschillen in specifiek gewicht welke worden veroorzaakt door de bijmenging van het indicatorgas zelf, en

3e. de diffusie.

In het resultaat van iedere bepaling der natuurlijke ventilatie, ligt het effect van elk dezer drie oorzaken opgesloten, en om daarin te kunnen herkennen het aandeel, dat elk voor zich, daartoe heeft bijgedragen, is het noodzakelijk vooraf na te gaan wat geschieden zou, als het indicatorgas verdween door iedere oorzaak afzonderlijk.

Voor de verschillen in specifiek gewicht, die door temperatuurverschillen worden veroorzaakt, is dit, zooals in het vorige hoofdstuk is vermeld, reeds uitvoerig door R e c k n a g e l bestudeerd.

Wat het resultaat van de werking der beide andere oorzaken betreft, zal ik in dit hoofdstuk trachten, daarin nader inzicht te verkrijgen.

A. **Invloed der diffusie.**

Wanneer men twee afgesloten ruimten, gevuld met verschillende gassen, met elkander in gemeenschap brengt, zal, tengevolge van de moleculaire beweging, na eenigen tijd een volledige menging der gassen hebben plaatsgevonden. Beide ruimten bevatten dan een gasmengsel van dezelfde samenstelling. Hieruit volgt direct dat, wanneer beide ruimten worden gevuld met gasmengsels, waarin de componenten in verschillende concentratie aanwezig zijn, een vereffening dier concentratieverschillen zal plaats vinden.

Ook wanneer beide ruimten gescheiden zijn door een poreuzen wand, heeft datzelfde verschijnsel plaats. Wel is waar zal het dan langer duren, voordat een volledige menging of vereffening der concentratieverschillen heeft plaats gevonden, doch de eindtoestand zal dezelfde zijn, als wanneer beide ruimten in open verbinding staan: de gasmengsels, aan weerszijden van den poreuzen wand, zullen ten slotte volkomen aan elkaar gelijk zijn.

Het is duidelijk, dat men, bij de bepaling van de grootte der natuurlijke ventilatie van een woonvertrek, met dezen factor rekening zal moeten houden, daar men dan in werkelijkheid te doen heeft met twee gasmengsels van verschillende samenstelling, die door

poreuze wanden, de muren van het vertrek, van elkander zijn gescheiden. Reeds Lang[1]) vestigde hierop de aandacht, daar hij onder de oorzaken, die bij de ventilatieproeven het indicatorgas uit het vertrek doen verdwijnen, ook het „Diffusionsbestreben der Gase" opnoemt.

Wat betreft de snelheid, waarmede de diffusie door een poreuzen wand heen plaatsgrijpt, deze is, zooals begrijpelijk is, in de eerste plaats afhankelijk van den aard van den wand.

Hoe fijner de poriën zijn, des te grooter zal ook de weerstand wezen, welke de gassen er door ondervinden en des te langer zal het duren, voordat de eindtoestand is bereikt.

In de tweede plaats echter, is die snelheid ook afhankelijk van den aard der diffundeerende gassen, met dien verstande, dat gassen met een hoog moleculairgewicht minder gemakkelijk door een bepaalden wand heen diffundeeren dan die, waarvan het moleculairgewicht kleiner is.

Zijn de poriën van het gebezigde poreuze materiaal uiterst fijn, dan is de snelheid, waarmede verschillende gassen door den wand heen diffundeeren, omgekeerd evenredig met den kwadraatwortel uit de dichtheid van het gas. Voor meer poreuze stoffen zooals b. v. gegoten gips gaat, volgens Bunsen, deze betrekking niet meer volkomen op: de verschillen in diffusiesnelheid van verschillende gassen worden dan geringer, dan volgens dien regel zou worden vereischt.

Ten slotte hangt de snelheid, waarmede een gas door een poreuzen wand door diffusie weggaat, nog af

[1]) Lang. Zeitschr. f. Biologie XI (1875) s. 313.

van het concentratieverschil, dat aan weerszijden van den wand bestaat, en wel zoodanig, dat het volumen van het gas, dat in een zekeren tijd diffundeert, evenredig is met het verschil in partieelen druk, dat aan weerszijden van den wand bestaat.

Behalve de grondleggende proeven van Graham [1]) en Bunsen [2]), zijn voor ons doel van het grootste belang die van Märcker, welke de diffusie van het koolzuur door een poreuzen wand heen, uitvoerig bestudeerde [3]). Zijn proeven zijn daarom zoo interessant, omdat hij als poreuze wand juist die stoffen bezigde, welke voor de constructie van muren worden aangewend, zoodat de resultaten welke hij verkreeg, behoudens het op blz. 36 gezegde, direct van toepassing zijn bij beschouwingen over gasdiffusie door de wanden van een vertrek heen.

Bovendien werkte hij, in tegenstelling met Graham en Bunsen, met gasvolumina van constante grootte, zoodat ook in dat opzicht, zijn proeven meer in overeenstemming zijn met den toestand, waarmede wij bij de natuurlijke ventilatie te maken hebben.

Hij werkte op de volgende wijze :

Een ongeveer bolvormig glazen vat, met zeer korten, wijden hals, werd gesloten door een plaat van het te onderzoeken poreuze materiaal, die gasdicht daarop werd vastgekit. Door een opening in die plaat werd het vat, de diffuseur, zooals Märcker het noemt, gevuld òf met zuiver koolzuur, òf met een lucht-koolzuurmengsel van bekende samenstelling. Na de vulling

[1]) Graham: Poggendorf's Annalen XVII.

[2]) Bunsen: Gasometrische methoden (1857) s. 228.

[3]) Märcker: Untersuchungen über die Diffusion von Kohlensäure durch poröse Scheidewände. Landwirthschaftl. Jahrb. 1877. Suppl. Heft.

werd de opening onmiddellijk gesloten met een gummistop, en alles een zekeren tijd aan zichzelf overgelaten, zoodat het koolzuur door de plaat heen naar buiten kon diffundeeren. Na afloop van den vastgestelden tijd, werd de gummistop even weggenomen en een bekende hoeveelheid barytwater, van bekende sterkte, in de kolf gebracht; de opening werd dan weer zoo snel mogelijk gesloten en het bovenste deel van het apparaat overtrokken met een stevige kap van caoutchouk. Nadat al het nog aanwezige koolzuur door het barytwater was geabsorbeerd, werden zoowel de gummikap, als de poreuze plaat zelf, verwijderd, de troebele vloeistof overgebracht in een cylinder, waarin, onder afsluiting van de lucht, het gevormde baryumcarbonaat kon bezinken en eindelijk in de heldere bovenstaande vloeistof, de hoeveelheid overgebleven baryumhydroxyde bepaald. Daar men aldus de samenstelling van het lucht-koolzuurmengsel bij het begin en bij het einde van de proef kende, wist men hoeveel koolzuur, in den tijd dat de proef duurde, door diffusie de kolf had verlaten.

Bij een tweede serie proeven, werden niet-doorboorde poreuze platen gebezigd. De vulling had dan plaats door middel van twee, zijdelings aan het vat aangesmolten buizen, terwijl intusschen de poreuze plaat weer door een caoutchouk kap was afgesloten. Om hier na afloop der diffusie het overgebleven koolzuur te bepalen, werd, met behulp van een waterstraalluchtpomp, door het toestel een stroom droge, koolzuurvrije, lucht gezogen. Tusschen pomp en toestel waren, behalve een gasmeter, een stel kaliapparaten ingeschakeld, waarvan de gewichtstoename, na het doorvoeren van een voldoende

groot quantum lucht, de hoeveelheid koolzuur deed kennen, die nog in den diffuseur was overgebleven.

Hierbij werden de gebruikelijke voorzorgen genomen, om de fouten te vermijden, die door het verdampen van de kalioplossing enz. zouden kunnen ontstaan.

Bij beide bovenbeschreven wijzen van werken, verkreeg men natuurlijk alleen de begin- en de eind-concentratie van het koolzuur in den diffuseur.

Was het erom te doen de hoeveelheden koolzuur te bepalen, die gedurende eenige opeenvolgende tijdruimten het apparaat verlieten, dan werd, over de poreuze plaat heen, op het toestel nog een blikken doos met drie openingen bevestigd. Door een dezer openingen stak een thermometer; de beide anderen dienden als toe- en afvoeropeningen voor een stroom koolzuurvrije lucht. Het koolzuur, dat door de plaat heen diffundeerde, werd door dien luchtstroom meegevoerd en weer, met de bekende voorzorgen, in kaliloog opgevangen. De gewichtstoename van deze kaliapparaten gaf dus aan de hoeveelheid koolzuur, die gedurende den tijd dat het toestel in werking was geweest, den diffuseur had verlaten.

Met behulp van deze proeven, trachtte M ä r c k e r te komen tot vergelijking van verschillende poreuze materialen, wat betreft hun vermogen om koolzuur te laten diffundeeren. Als uitdrukking daarvan koos hij: de hoeveelheid koolzuur (uitgedrukt in kubieke meters), die per uur diffundeert door een wand van 1 M^2. oppervlakte en 1 cM. dikte, wanneer zich aan de eene zijde van den wand zuiver koolzuur bevindt en aan den anderen kant koolzuurvrije lucht; dit noemde hij het diffusievermogen.

Om echter deze, voor elk materiaal constante, grootheid te kunnen berekenen, was het noodig de wetten te kennen, volgens welke de diffusie plaatsvindt. Het bleek, dat onder overigens gelijke omstandigheden, de hoeveelheid diffundeerend koolzuur omgekeerd evenredig is met de dikte van den poreuzen wand, en recht evenredig met de oppervlakte daarvan.

Wat betreft het verband tusschen concentratie en de hoeveelheid diffundeerend gas, stelde Märcker voorop, dat, wanneer van een gasmengsel met γ% koolzuur, in een bepaalden tijd, x% (d. i. het $\frac{x}{\gamma}^{e}$ deel van γ) diffundeeren, in een volgenden, even langen tijd, eveneens het $\frac{x}{\gamma}^{e}$ deel van het overgebleven percentage zal verdwijnen.

Hiervan uitgaande, komt hij voor het percentage, dat na n tijdsdeeltjes is weggediffundeerd, tot de formule

$$s_n = \gamma \left\{ 1 - \left(\frac{\gamma - x}{\gamma} \right)^n \right\}$$

waarin γ voorstelt het beginpercentage en x het aantal procenten, dat in het eerste der n tijdsdeeltjes is verdwenen.

Al naarmate het gebezigde materiaal meer of minder poreus was, neemt Märcker bij zijne berekeningen als n, het aantal seconden of minuten dat de proef duurde, zoodat dus x voorstelt, het percentage koolzuur, dat in de eerste seconde of minuut is verdwenen.

Om zijn theorie experimenteel te bewijzen, vulde hij den diffuseur met zuiver koolzuur en bepaalde de hoeveelheid, die telkens in een uur daaruit door diffusie wegging. Uit het percentage, dat in het eerste uur den

diffuseur had verlaten, kon hij tevens berekenen hoeveel in elk opvolgend uur moest verdwijnen, wanneer zijn beschouwingen juist waren.

Hij vond, bij verschillende seriën proeven, voor de hoeveelheid weggediffundeerd koolzuur, in procenten:

	Gevonden.	Berekend.	Verschil.
I.			
In het 1e uur . . .	62.74	—	—
2e » . . .	23.33	23.38	— 0.05
3e » . . .	8.58	8.71	— 0.13
4e » . . .	3.08	3.25	— 0.17
5e » . . .	1.11	1.21	— 0.10
6e » . . .	0.42	0.45	— 0.03
II.			
1e uur . . .	26.51	—	—
2e » . . .	19.54	19.48	+ 0.06
III.			
1e uur . . .	57.63	—	—
2e » . . .	24.40	24.42	— 0.02
3e » . . .	10.32	10.35	— 0.03
4e » . .	4.39	4.38	+ 0.01
5e » . . .	1.89	1.86	+ 0.03
6e » . . .	0.94	0.79	+ 0.15
7e » . . .	0.44	0.33	+ 0.11
8e » . . .	0.31	0.14	+ 0.17

	Gevonden.	Berekend.	Verschil.
IV.			
In het 1e uur . . .	37.13	—	—
2e » . . .	23.95	23.34	+ 0.61
3e » . . .	14.76	14.68	+ 0.08
4e » . . .	8.86	9.23	— 0.37
V.			
1e uur . . .	28.16	—	—
2e » . . .	20.05	20.23	— 0.18
3e » . . .	14.28	14.53	— 0.25
4e » . . .	10.10	10.52	— 0.42
VI.			
1e uur . . .	24.13	—	—
2e » . . .	18.04	18.31	— 0.27

Al deze proeven zijn dus genomen met een aanvangsconcentratie van 100 %. Daar bij de bepaling der natuurlijke ventilatie, nimmer met zulke buitengewoon hooge concentratie's wordt gewerkt, scheen het mij niet overbodig toe, na te gaan of de diffusie bij veel geringere concentratie's op dezelfde wijze plaatsvindt; te meer, omdat, voornamelijk in de seriën III en V, de verschillen tusschen berekende en gevonden waarden, grooter schijnen te worden, naarmate de concentratie in den diffuseur lager wordt.

Ik richtte daartoe de navolgende proef in, waarbij als diffundeerend gas waterstof werd gebruikt. (Voor de wijze van bepaling daarvan zie men Hoofdstuk IV).

In de, van boven vlak afgeslepen, tube T (Fig. 4) van het

peervormige glazen vat D, (inhoud ongeveer 290 cM^3.), was een stukje wijde glazen buis gasdicht vastgekit. In deze buis, waarvan de bovenste rand nagenoeg gelijk kwam met den rand van de tube, bevond zich het gipscylindertje, dat als poreuze wand dienen moest. In de onderste opening van het vat D, was, door middel van een caoutchoukverbinding, de glazen buis Y zoodanig bevestigd, dat die gemakkelijk op en neer geschoven kon worden. De buis Y was dikwandig en kon aan het ondereinde, door middel van een klemkraan worden gesloten; de lengte was zoodanig, dat het bovenste uiteinde tot vlak onder het gipscylindertje kon worden opgeschoven.

Om het gasvolume binnen D naar willekeur te kunnen vergrooten of verkleinen, was dit vat, door middel van het zijbuisje Z en een caoutchoukslang, verbonden met het contravat Q, dat met water was gevuld.

In de tube G eindelijk, was, met een caoutchoukstop, een nauwe, omgebogen buis bevestigd, voorzien van de driewegkraan K. Het uiteinde van deze buis was nagenoeg gelijk met het ondereinde van de caoutchoukstop.

Op de volgende manier wordt met dit toestel gewerkt.

Eerst wordt de tube T gesloten door een vlakgeslepen glazen plaatje; Y opgeschoven tot vlak onder het gipscylindertje en vervolgens het waterniveau in D zoo hoog gebracht, dat het uiteinde van het buisje bij G, nog juist niet wordt aangeraakt. Daarna wordt de verticale boring van K met water gevuld, en verbonden met de, geheel met water gevulde, bolbuis B, die door twee kranen kan worden gesloten. De kraan K wordt daarop zóó gedraaid, dat de horizontale boring

in de as van de horizontale buis komt te liggen, terwijl *B* geheel met water blijft gevuld. Door de buis van *K*, wordt een lucht-waterstofmengsel van ongeveer bekende samenstelling gevoerd, (waarbij de klemkraan van *Y* dus geopend wordt) zóó lang, tot de zekerheid is verkregen, dat het gasmengsel in *D*, dezelfde samenstelling heeft als dat in het reservoir. Door *K* 90° te draaien en de kranen van *B* te openen, wordt van dit mengsel een monster ter analyse genomen. (Tijdens deze monstername, evenals gedurende het doorvoeren van het gasmengsel, wordt zorg gedragen, dat de beneden opening van *Y* zich onder water bevindt). De klemkraan van *Y* wordt nu gesloten en het vat *D* eveneens met het gasmengsel gevuld, door *Q* te laten dalen en de kraan *E* te openen. Tegelijkertijd wordt *Y* omlaag getrokken, waarbij er op gelet wordt, dat de benedenste opening steeds onder water blijft. Is het niveau in *D* juist gedaald tot de merkstreep *M*, dan wordt de kraan *E* gesloten en *Y* zóó geplaatst, dat het boveneinde nog éven boven het water uitsteekt. Nadat er voor is gezorgd, dat het gas in *D* onder een kleinen overdruk staat, wordt *K* zóó geplaatst, dat *D* geheel is afgesloten.

Door de klemkraan van *Y* even te openen, wordt de druk in *D* gelijkgemaakt aan dien van de atmospheer; *Y* wordt vervolgens nog lager geschoven, tot het boveneinde juist onder de waterspiegel is gekomen. Door de verticale boring van *K*, welke vooraf weer met water is gevuld geworden, wordt ook het geheele buisje bij *G* met water gevuld. Het niveau in *D*, dat door de overmaat water is gestegen, wordt weer tot bij *M* teruggebracht. *D* is dan gevuld met een gasmengsel van dezelfde samenstelling als het genomen monster, terwijl

de druk bijna volkomen gelijk is aan die van de buitenlucht.

Het plaatje bij T wordt nu verwijderd, zoodat de diffusie door het gips heen kan aanvangen. Na een bepaalden tijd, wordt het met water gevulde vat B weer verbonden met de kraan K (waarvan de verticale boring vooraf natuurlijk ook met water is gevuld), het glazen plaatje weer op T geplaatst en het vat B door openen der beide kranen en opheffen van Q (nadat K in den goeden stand is gezet), met het gas uit D gevuld. De analyse daarvan leert dan hoeveel in den bekenden tijd de samenstelling van het gasmengsel in den diffuseur is veranderd.

Deze proef werd eenige malen herhaald, met mengsels, die verschillende percentages waterstof bevatten. Steeds werd gewerkt met hetzelfde gasvolumen en denzelfden poreuzen wand.

Stellen wij het volumen van het vat D gelijk I en noemen wij α de hoeveelheid waterstof, die bij de eenheid van concentratie (procent), in de eenheid van tijd (uur), door het gipscylindertje gaat, dan stelt, wanneer de hoeveelheid diffundeerend gas, bij overigens gelijke omstandigheden, evenredig is aan het concentratieverschil aan beide zijden, $\alpha c\, dt$ voor: de hoeveelheid, die in een oneindig kleinen tijd dt het vat D verlaat, als de waterstofconcentratie daar gelijk c is.

Door vermenigvuldiging met $\frac{100}{I}$ vinden wij dus voor de concentratieverandering, na een oneindig kleinen tijd dt:

$$dc = -\frac{100}{I}\alpha c\, dt$$

$$\text{of } dt = -\frac{dc}{c} \times \frac{I}{100\,\alpha}.$$

Als wij deze vergelijking integreeren vinden wij

$$t = -\frac{I}{100\,\alpha}\ log.\ nat.\ c + K,$$

waarin K een constante is.

Voor $t = 0$ (bij den aanvang der proef), is c gelijk aan de beginconcentratie c_0, zoodat:

$$0 = -\frac{I}{100\,\alpha}\ log.\ nat.\ c_0 + K \text{ of}$$

$$K = \frac{I}{100\,\alpha}\ log.\ nat.\ c_0.$$

Wij vinden dus, als wij deze waarde in de vorige vergelijking substitueeren:

$$t = -\frac{I}{100\,\alpha}\ log.\ nat.\ c + \frac{I}{100\,\alpha}\ log.\ nat.\ c_0$$

$$t = \frac{I}{100\,\alpha}\ log.\ nat.\ \frac{c_0}{c}$$

zoodat

$$c = c_0\, e^{-\frac{100\,\alpha}{I}t}$$

of wel:

$$e^{\frac{100\,\alpha}{I}t} = \frac{c_0}{c}$$ [1])

Daarin is e het grondtal der natuurlijke logarithmen.

Gaat ook bij kleine concentratie's deze wet door dan kunnen wij uit één proef den exponent $\frac{100}{I}\,\alpha$ berekenen en met behulp daarvan, voor elke andere proef,

[1]) De formule van Märcker (blz. 43) wordt volkomen aan deze gelijk, wanneer wij daarin n oneindig groot laten worden.

die met hetzelfde gasvolumen en denzelfden poreuzen wand, doch met verschillenden tijd en concentratie genomen is, het waterstofpercentage aan het einde der proef berekenen.

Ik vond de navolgende cijfers:

c_0	t	c	
		gevonden	berekend
4.00	1 uur	1.04	—
4.35	$\frac{1}{2}$ »	2.23	2.22
3.20	1 »	0.83	0.83
1.64	$\frac{1}{2}$ »	0.84	0.84
1.10	1 »	0.27	0.29

Hieruit volgt $\alpha \frac{100}{I} \times 1 = 1.3471$.

De overeenstemming van berekende en gevonden waarden is zoo goed, dat ik met deze weinige cijfers meen te kunnen volstaan; te meer daar dit alle proeven zijn, die op deze wijze werden verricht en dus nimmer een afwijkend cijfer werd gevonden.

Natuurlijk zou men door I te meten, de getalwaarde van α, ook voor verschillende materialen, kunnen bepalen. Ik acht dit echter voor mijn doel geheel overbodig, daar de aldus gevonden waarde niet op geheele muurvlakten zijn over te dragen, zonder dat vooraf zekerheid is verkregen, dat de porositeit van wanden, zooal niet gelijk, dan toch van dezelfde orde van grootte is, als die van de zeer kleine stukjes, waarmede zou worden geexperimenteerd.

De wijze waarop deze diffusieproeven waren ingericht, stemde echter niet geheel overeen met de wijze waarop de diffusie van een gas door de wanden van een vertrek heen plaats grijpt.

Wanneer namelijk een deel der waterstof den diffuseur verlaat, zal daarin een meer of minder groote drukvermindering ontstaan, welke door toetreden van waterstofvrije buitenlucht, weer gedeeltelijk wordt opgeheven. Bij de zooeven beschreven proeven, was de eenige weg, langs welken dit toestroomen van lucht kon geschieden, de poreuze wand; bij een vertrek echter, zullen er steeds toevallige openingen worden gevonden, die dit toevloeien van lucht gemakkelijker maken. De mogelijkheid bestaat dus, dat ook de diffusie dan op iets andere wijze plaats heeft.

Om dit uit te maken, werden enkele diffusieproeven verricht waarbij de onderste opening der buis Y niet werd gesloten.

Onder overigens geheel dezelfde omstandigheden, doch met een ander gipscylindertje, verkreeg ik het volgende resultaat:

c_0	t	c	
		gevonden	berekend
3.93	$\frac{3}{4}$ uur	1.45	—
2.94	$\frac{1}{2}$ »	1.51	1.51
5.01	$\frac{1}{6}$ »	0.44	0.44

Hieruit volgt $\alpha \frac{100}{I} \times 1 = 1.329$.

In de wijze waarop de diffusie plaats vindt, heeft dus het bestaan eener kleine opening geen invloed.

Reeds vroeger is opgemerkt, dat, wanneer de poriën van den wand zéér fijn zijn, de snelheid der diffusie van verschillende gassen, omgekeerd evenredig is met den wortel uit de dichtheid, doch dat bij meer poreuze stoffen, deze betrekking niet bestaat. De verschillen worden dan minder groot dan volgens deze wet wordt vereischt. Toch schijnen deze afwijkingen niet zeer aanzienlijk te zijn. Immers toen ik met hetzelfde toestel en hetzelfde gipscylindertje als bij de eerste proeven met waterstof, deze herhaalde met zuurstof, vond ik:

c_0	t	c	
		gevonden	berekend
22.00	$\frac{1}{2}$ uur	21.82	21.84
22.18^5	$\frac{1}{2}$ »	21.97^5	21.99
22.23	$\frac{1}{2}$ »	22.05	22.03

In de laatste kolom zijn opgegeven, de waarden, die worden berekend, als men aanneemt, dat de diffusiesnelheid werkelijk omgekeerd evenredig is met den wortel uit de dichtheid, zoodat in de formule $\frac{100}{I}\alpha$ wordt:

$$\frac{1.3471}{4} = 0.3368.$$

De afwijkingen zijn zóó gering, dat wij ons, althans zonder groote fouten te maken, ook voor stoffen als gegoten gips, aan de zooeven genoemde wet mogen houden.

De formule die wij op blz. 50 hebben afgeleid is, zooals wij zien, van volkomen denzelfden vorm, als die welke wij vroeger hebben gevonden, voor het geval dat de concentratie van het indicatorgas afnam door het bestaan van een constante luchtwisseling, wanneer het gebezigde gas niet in de buitenlucht voorkwam. Hieruit volgt, dat wanneer wij de concentratie van het indicatorgas binnen het vertrek, op verschillende tijdstippen bepalen, wij uit de wijze waarop deze concentratie afneemt, niet kunnen nagaan of die vermindering het gevolg is van een constante luchtwisseling of van de diffusie.

Bestaan deze twee oorzaken naast elkaar, dan volgt uit hetgeen reeds vroeger is besproken, dat de concentratieverandering in een oneindig kleinen tijd dt wezen zal:

$$-dc = \frac{V}{I} c\,dt + \frac{100\,\alpha}{I} c\,dt$$

wanneer V, I en c de beteekenis hebben, die wij tot nu toe steeds daaraan hebben toegekent en α voorstelt de hoeveelheid van het indicatorgas die per tijdseenheid, bij de eenheid van concentratieverschil, door het geheele diffundeerende wandoppervlak, het vertrek verlaat.

Wij vinden hieruit weer op de gewone wijze:

$$dt = -\frac{dc}{c} \times \frac{I}{V + 100\,\alpha}$$

bij integratie

$$t = -\frac{I}{V + 100\,\alpha}\ log\ nat.\ c + K.$$

Voor het begin der proef, dus voor $t = 0$, wordt dit:

$$0 = -\frac{I}{V + 100\,\alpha}\ log\ nat.\ c_0 + K.$$

zoodat dus

$$t = -\frac{I}{(V + 100\,\alpha)}\ (log.\ nat.\ c - log.\ nat.\ c_0)$$

of

$$\frac{c_0}{c} = e^{\frac{V + 100\,\alpha}{I}\,t}$$

De wijze waarop de concentratie verandert, is dus dezelfde als bij beide oorzaken wanneer zij gescheiden werken.

De diffusie heeft bij de bepaling der natuurlijke ventilatie dezen invloed, dat de berekende luchtwisseling grooter is dan de in werkelijkheid bestaande, daar wij in plaats van de gezochte grootheid $\frac{V}{I}$, door de bepaling vinden : $\frac{V + 100\,\alpha}{I}$

Van de getalwaarde van α in elk speciaal geval, hangt natuurlijk de grootte van de fout af. Bij een gegeven vertrek echter, wordt de fout procentisch des te grooter, naarmate V kleiner is. Zijn dus de ventileerende krachten, met name de temperatuurverschillen, gering, dan zal men daarmede rekening moeten houden, wanneer α een eenigzins aanzienlijke waarde bezit.

Nu is α groot, wanneer de wanden dun en zeer poreus zijn, d. w. z. bij vertrekken, die bij een vrij gering temperatuurverschil, reeds een aanzienlijke natuurlijke luchtwisseling hebben. Bij dergelijke vertrekken bestaat dus de mogelijkheid, dat de diffusie een aanzienlijke fout in de bepaling veroorzaakt, wanneer V gering is, dus wanneer de natuurlijke ventilatie wordt bepaald bij zeer kleine verschillen in temperatuur.

Dat het niet overbodig is hierop te wijzen, bewijst o. a. een verhandeling van een autoriteit op het gebied

van de natuurlijke ventilatie [1]). Bij een zesentwintigtal bepalingen der natuurlijke luchtwisseling, bedraagt het hoogst voorkomende temperatuurverschil 5.7°, terwijl zelfs verschillen van minder dan een graad, herhaaldelijk voorkomen. Zoolang wij niets weten over de grootte van α, (en de door Märcker bepaalde waarden kunnen daarover geen licht verspreiden om de vroeger vermelde redenen), kunnen de resultaten van deze en soortgelijke bepalingen nimmer gelden als de werkelijk plaatsgehad hebbende luchtwisseling.

---

[1]) H. Wolpert. Einfluss der landhausmäszigen Bebauung auf die natürliche Ventilation der Wohnräumen Arch. f. Hyg. 52. (1905) s. 46 ff.

B Invloed van het specifiek gewicht van het indicatorgas.

Vooreerst zal het duidelijk zijn, dat de toevoeging van een gas met een ander specifiek gewicht, een verschillenden invloed zal hebben, al naarmate het gas soortelijk zwaarder of minder zwaar is dan de lucht.

In het eerste geval (dus b. v. bij het koolzuur), zal het specifiek gewicht van het lucht-gasmengsel grooter worden dan dat van zuivere lucht.

Wanneer wij dus aannemen, dat geen temperatuurverschillen tusschen binnen- en buitenlucht bestaan, dan zal toevoeging van koolzuur tengevolge hebben, dat beneden de neutrale zône krachten optreden, die buitenwaarts zijn gericht. Boven de neutrale zône ontstaan krachten, die de buitenlucht het vertrek doen binnenstroomen. Deze zelfde soort krachten blijft bestaan, wanneer tevens temperatuurverschillen heerschen ; het zal duidelijk zijn, dat de daardoor in het leven geroepen ventileerende krachten, tengevolge van de koolzuurtoevoeging, worden vergroot, wanneer beide in dezelfde richting werken. Dit is het geval wanneer de temperatuur binnen het vertrek lager is dan die daarbuiten. Is de temperatuur binnen het vertrek echter hooger dan daarbuiten, dan werken de krachten, die van dit temperatuurverschil het gevolg zijn, tegengesteld aan

de krachten, die door de koolzuurtoevoeging worden veroorzaakt. De grootte van de eersten zal dus verminderd worden, ja zelfs zal de mogelijkheid bestaan, dat zij geheel worden opgeheven, of dat de resultante in tegengestelde richting werkt.

Voor een indicatorgas waarvan het soortelijk gewicht kleiner is dan dat van lucht, geldt natuurlijk juist het omgekeerde. Bij een vertrek waar de temperatuur binnen hooger is dan buiten zal de toevoeging van een dergelijk gas een vergrooting der ventileerende krachten tengevolge hebben.

Wat betreft de getalwaarde van de krachten, die het gevolg zijn van de toevoeging van een vreemd gas, deze kunnen wij op eenvoudige wijze berekenen.

Noemen wij daartoe :

de temperatuur binnen het vertrek . . . . . T_1
» » buiten » » . . . . . T_0
» concentratie van het indicatorgas binnen . . . c
» » » » » buiten . . . c_b
het soortelijk gewicht van lucht (0° en 760 mM.) . s
» » » » het indicatorgas . . . s_i
de barometerstand. . . . . P

Het specifiek gewicht van het gasmengsel binnen het vertrek, zal dan wezen :

$$A = \frac{P}{760} \times \frac{1}{1 + \alpha T_1} \times \left\{ s + \frac{c}{100} (s_i - s) \right\}$$

en buiten het vertrek :

$$B = \frac{P}{760} \times \frac{1}{1 + \alpha T_0} \times \left\{ s + \frac{c_b}{100} (s_i - s) \right\}$$

Het verschil van A en B stelt voor de grootte der

ventileerende kracht, op de eenheid van afstand van de neutrale zône. Deze zal dus bedragen :

$$F = \frac{P}{760}\left\{ s.\frac{T_0 - T_1}{273 + T_0 + T_1} + \frac{s_i - s}{100}\left(\frac{c}{1 + \alpha T_1} - \frac{cb}{1 + \alpha T_0}\right)\right\}$$

De eerste term van dezen vorm is niets anders dan het verschil in soortelijk gewicht door de temperatuurverschillen alléén veroorzaakt; de tweede term is het gevolg van het bijmengen van het gas. De invloed daarvan op den geheelen vorm, is voornamelijk afhankelijk van s_i (daar s constant is) en van c (ook cb is constant). Is de waarde van $T_0 - T_1$ groot, dan zal de invloed van den tweeden term betrekkelijk klein wezen, doch bij een klein temperatuurverschil zal de tweede term wel degelijk een merkbaren invloed kunnen hebben. Wij kunnen hier dezelfde opmerking maken als op blz. 56. Waar, bij de bepaling der natuurlijke ventilatie, nergens een maximum wordt opgegeven voor de aanvangsconcentratie van het koolzuur en steeds de neiging schijnt te bestaan, dit zoo hoog mogelijk op te voeren [1]), is het, dunkt mij, niet overbodig te wijzen op de fouten, die daaruit onder bepaalde omstandigheden kunnen voortvloeien.

Is b.v. de temperatuur binnen het onderzochte vertrek 15° dan is de ventileerende kracht, door de aanwezigheid van het koolzuur ontstaan, op 1 M. afstand van de neutrale zône (2e kolom.)

---

[1]) S w a a b, l. c. blz. 27.

»Om een groot verschil te hebben tusschen bepalingen voor en na »den proeftijd moet *natuurlijk bij den aanvang veel* $C O_2$ *aanwezig zijn*."

H. W o l p e r t, l. c. s. 49.

» .... zur raschen Erreichung eines *möglichst hohen anfängligen Kohlensäuregehaltes*."

Percentage koolzuur.	Ventileerende krachten door		Temperatuur-verschil.
	CO_2 veroorzaakt.	T versch. veroorz.	
1	0.0061	0.0043	1
2	0.0125	0 0127	3
3	0.0189	0.0210	5
4	0.0253	0.0292	7
5	0.0316	0.0373	9

Een vergelijking dezer cijfers met die, welke de grootte der krachten aangeven, die door verschillen in temperatuur worden veroorzaakt (3e kolom), doet zien dat bij geringe temperatuurverschillen tusschen binnen- en buitenlucht, wel degelijk met dezen factor rekening moet worden gehouden.

Ter illustratie laat ik hier nog enkele aan de litteratuur ontleende voorbeelden volgen.

Temp. verschil.	Temp buitenlucht.	Aanvangs-concentratie CO_2 in %.	Ventileerende krachten door T verschil.	Ventileerende krachten door CO_2 geh.	Verhouding.
[1]) — 1.9°	25.8°	1.07	0.0076	0.0064	1 : 0.8
— 0.4°	27.2°	0.722	0.0016	0.0040	1 : 2.5
— 0.5°	20.5°	2.161	0.0021	0.0133	1 : 6.3
— 0.6°	22.3°	0.823	0.0024	0.0038	1 : 1.6
— 1.0°	23.3°	1.706	0.0041	0.0103	1 : 2 5
[2]) + 13°	+ 3°	4.5	0.0576	0.0284	1 : 0.5
+ 13°	+ 3°	4.82	0.0576	0.0304	1 : 0.5
+ 8°	+ 8°	3.06	0.0348	0.0191	1 : 0.5
+ 10°	+ 7°	6.0	0.0435	0.0378	1 : 0.9

[1]) H. Wolpert Arch. f. Hyg. 52 (1905) s. 68.
[2]) B. Swaab, Diss.

De getallen in de laatste kolom, geven de verhouding aan van de krachten, veroorzaakt door temperatuurverschillen tot die, welke van de aanwezigheid van het koolzuur het gevolg zijn. Het blijkt daaruit dat bij geringe verschillen in temperatuur (1e serie), zelfs zonder dat met abnormaal hooge concentratie's wordt gewerkt, de invloed van het koolzuur tot meer dan zes maal grooter kan zijn dan de krachten, die de eigenlijke natuurlijke ventilatie doen tot stand komen.

Zijn de temperatuurverschillen minder klein (2e serie) dan zijn echter zéér hooge koolzuurgehaltes noodig om een aanzienlijke fout in het leven te roepen. Een koolzuurgehalte van 1 $^0/_0$, zooals bij de bepaling der natuurlijke ventilatie in den regel wordt aangewend, zal slechts een geringen invloed hebben. Ook dient er op te worden gewezen dat deze cijfers alleen gelden voor den aanvang der proef. Naarmate deze langer wordt voortgezet wordt ook de invloed der koolzuurtoevoeging geringer. Merkbaar zal deze dus alleen zijn in die gevallen, waar, bij kort voortgezette proeven en bij geringe verschillen in temperatuur, met tamelijk hooge koolzuurpercentage's wordt geëxperimenteerd.

Worden de temperaturen binnen en buiten het vertrek gelijk, dan vervalt de eerste term van de formule voor F en wordt

$$F = \frac{P}{760} \times \frac{s_i - s}{100} \times \frac{c - c_b}{1 + \alpha T_1}$$

zoodat in dat geval de ventileerende krachten evenredig zijn met het heerschende concentratieverschil.

Wanneer enkel een luchtwisseling plaats vindt ten gevolge van dergelijke verschillen in soortelijk gewicht zullen dus ook de hoeveelheden lucht, die op elk mo-

ment het vertrek verlaten en binnentreden, met dit concentratieverschil evenredig zijn, zoodat wij de hoeveelheid, die in een oneindig kleinen tijd dt, bij een concentratieverschil $c - c_b$, het vertrek verlaat, mogen gelijkstellen aan

$$\beta\ (c - c_b)\, dt$$

waarin dan β voorstelt: het volume lucht dat per tijdseenheid, bij de eenheid van concentratieverschil tusschen binnen- en buitenlucht, het vertrek verlaat.

Daar dt oneindig klein genomen is, mogen wij aannemen dat de samenstelling van het gasmengsel dat gedurende dien tijd wegstroomt, niet verandert, en dat de concentratie van het indicatorgas daarin, gelijk aan c blijft.

De hoeveelheid indicatorgas, die na den tijd dt is verdwenen bedraagt dan:

$$\frac{\beta\,(c - c_b)\, dt}{100} \times c.$$

Intusschen is een gelijke hoeveelheid buitenlucht met de concentratie c_b het vertrek binnengekomen.

De hoeveelheid indicatorgas daarin aanwezig is:

$$\frac{\beta\,(c - c_b)\, dt}{100} \times c_b.$$

De verandering in hoeveelheid van het aanwezige indicatorgas is dus:

$$-\frac{\beta\,(c - c_b)\, dt}{100}\, c + \frac{\beta\,(c - c_b)\, dt}{100}\, c_b.$$

of wel:

$$-\frac{\beta}{100}\,(c - c_b)^2\, dt$$

Door weer op de gewone wijze te vermenigvuldigen

met $\frac{100}{I}$ vinden wij voor de concentratieverandering:

$$dc = -\frac{\beta}{I}(c - c_b)^2\, dt \text{ of}$$

$$dt = -\frac{dc}{\frac{\beta}{I}(c - c_b)^2}$$

Als wij deze vergelijking integreeren vinden wij:

$$t = \frac{1}{c - c_b} \times \frac{I}{\beta} - K \quad (K \text{ is een constante}).$$

Voor $t = 0$, is c de beginconcentratie, zoodat

$$K = \frac{1}{c_0 - c_b} \times \frac{I}{\beta}.$$

Wij vinden dus voor t

$$t = \left(\frac{1}{c - c_b} - \frac{1}{c_0 - c_b}\right) \times \frac{I}{\beta}$$

dus is

$$\frac{\beta}{I} t + \frac{1}{c_0 - c_b} = \frac{1}{c - c_b} \text{ of}$$

$$\frac{c_0 - c_b}{c - c_b} = \frac{\beta}{I} t\,(c_0 - c_b) + 1.$$

Is de concentratie van het indicatorgas buiten het vertrek gelijk nul, dan wordt deze vorm:

$$\frac{c_0}{c} = \frac{\beta}{I} t\, c_0 + 1.$$

Wij zien uit deze formules dat de verhouding $\frac{c_0}{c}$ niet constant is, maar verandert met c_0.

Wanneer het indicatorgas uit een vertrek verdwijnt, alleen ten gevolge van de krachten, ontstaan door het toevoegen van dit gas, neemt de concentratie volgens een andere kromme af dan wanneer die afname wordt

veroorzaakt door een constante luchtwisseling of door de diffusie. Daar deze laatste niet te vermijden is, zullen wij moeten nagaan hoe de concentratie zal veranderen, wanneer alle drie de oorzaken tegelijkertijd het indicatorgas uit het vertrek doen weggaan.

Zij dus :

de concentratie van het indicatorgas in het vertrek c.

» inhoud van het vertrek . . . . . I.

» hoeveelheid indicatorgas, die per tijdseenheid bij een concentratieverschil één, wegdiffundeert α, terwijl β de hoeveelheid gasmengsel is, die in denzelfden tijd door het verschil in S. G. verdwijnt.

Dan is de hoeveelheid indicatorgas, die in den tijd dt weggaat, als de constante luchtwisseling weer V genoemd wordt en $c_b = 0$ wordt aangenomen :

$$\frac{V}{100}\, c\, dt + \alpha\, c\, dt + \frac{\beta}{100}\, c^2\, dt$$

$$= \left(\frac{V}{100} + \alpha\right) c\, dt + \frac{\beta}{100}\, c^2\, dt$$

De verandering van de hoeveelheid indicatorgas, welke in het vertrek aanwezig is, bedraagt dus .

$$-\left(\frac{V}{100} + \alpha\right) c\, dt - \frac{\beta}{100}\, c^2\, dt$$

zoodat de verandering der concentratie na een tijd dt is :

$$dc = -\left\{\left(\frac{V + 100\,\alpha}{I}\right) c\, dt + \frac{\beta}{I}\, c^2\, dt\right\}$$

Hieruit volgt :

$$-\, dc = \left\{\left(\frac{V + 100\,\alpha}{I}\right) c + \frac{\beta}{I}\, c^2\right\} dt$$

$$dt = \frac{-\, dc}{\frac{\beta}{I}\, c^2 + \frac{V + 100\,\alpha}{I}\, c}$$

Als wij deze vergelijking integreeren krijgen wij :

$$t = - \int \frac{dc}{\frac{\beta}{I} c^2 + \frac{V + 100\,\alpha}{I} c}$$

waaruit men vindt :

$$e^{\left(\frac{V + 100\,\alpha}{I}\right) t} = \frac{\frac{\beta}{I} c + \frac{V + 100\,\alpha}{I}}{c} \times K$$

(K is een constante).

Nu is voor $t = 0$, $c = c_0$, terwijl de eerste term dan gelijk 1 wordt, dus :

$$1 = \frac{\frac{\beta}{I} c_0 + \frac{V + 100\,\alpha}{I}}{c_0} \times K$$

Deelen wij deze vergelijkingen op elkaar, dan valt K weg, en wij vinden :

$$e^{\left(\frac{V + 100\,\alpha}{I}\right) t} = \frac{\frac{\beta}{I} + \frac{V + 100\,\alpha}{I} \times \frac{1}{c}}{\frac{\beta}{I} + \frac{V + 100\,\alpha}{I} \times \frac{1}{c_0}}$$

Met behulp van deze formule zouden wij, α en β eenmaal kennende, uit de concentratie van het indicatorgas aan het begin en aan het einde van een willekeurigen tijd t, de werkelijke luchtwisseling V kunnen berekenen.

HOOFDSTUK III.

Experimenteel gedeelte.

Bij de proeven, die noodig waren, om antwoord te verkrijgen op de vroeger gestelde vragen, was het in de allereerste plaats noodzakelijk, al die factoren, welke op de grootte der natuurlijke ventilatie van een vertrek van invloed zijn en wier juiste grootte moeilijk of niet kan worden bepaald, zooveel mogelijk buiten spel te houden. Ik denk hierbij voornamelijk aan den wind, welks invloed onder bepaalde omstandigheden, zeer belangrijk kan wezen.

Om daarvan zooveel mogelijk onafhankelijk te zijn, werd als proefvertrek gekozen, een der kelderruimten van het Pharmaceutisch laboratorium.

Drie wanden daarvan zijn vrij, en vormen de afscheiding van drie andere, soortgelijke ruimten ; de vierde wand is een buitenmuur, die voor meer dan de helft van de hoogte beneden den beganen grond ligt. Een viertal kleine vensters, in het bovenste deel van dezen muur, sloten nauwkeurig ; de kieren ervan werden met stopverf volkomen dicht gemaakt. Bovendien is deze muur zeer dik, ongeveer 70 cM., zoodat de luchtwisse-

ling, welke, daar doorheen, door wind kan worden veroorzaakt, niet dan gering kan zijn. Toch werden, ook om de minder directe invloeden te vermijden, geen ventilatieproeven genomen, wanneer het eenigszins hard woei.

De afmetingen van het vertrek waren: lengte 5.90 M., breedte 4.40 M., hoogte 2.40 M., zoodat de inhoud bedroeg ± 62 kubieke meter.

Met uitzondering van de buitenmuur, die zooals reeds werd gezegd 70 cM. dik is, hebben de verticale muren een dikte van ± 37 cM. Over het eigenlijke metselwerk is een kalklaag gestreken, die vroeger enkele malen is gewit geworden.

De zoldering is iets minder dik en bestaat uit metselwerk tusschen ijzeren balken, die 70 cM. van elkaar zijn verwijderd.

Ook de vloer is gemetseld en bestaat uit goed gevoegde klinkers.

Om uit dit vertrek gasmonsters te kunnen nemen, zonder telkens de deur te moeten openen, hetgeen allicht groote fouten met zich zou brengen, werd vanuit het midden van het vertrek een buisleiding gelegd naar het vertrek waar de luchtmonsters werden geanalyseerd. Met behulp van een waterstraalpomp kon de te onderzoeken lucht uit den kelder worden weggezogen.

Daar het niet te verwachten was, dat de natuurlijke ventilatie van een vertrek als het beschrevene, een groote waarde hebben zou, te meer, omdat om later te beschrijven redenen, de omstandigheden daarvoor zoo ongunstig mogelijk werden gemaakt, was slechts een langzame afname van de concentratie van het indicatorgas te verwachten. Bijzondere aandacht

moest dus worden besteed aan het nauwkeurig analyseeren der luchtmonsters. In de bijlagen, aan het einde van dit proefschrift, zijn de gevolgde methoden van analyseeren beschreven.

De algemeene gang van een ventilatieproef was de volgende :

Uit de cylinders, waarin de gebezigde indicatorgassen in den handel verkrijgbaar zijn, werd een ongeveer bekende hoeveelheid daarvan in het vertrek gebracht en met behulp van groote bordpapieren schermen met de lucht gemengd. De cylinder werd vervolgens verwijderd, de deur gesloten en de kieren daarvan, aan de buitenzijde, met stopverf zorgvuldig dichtgemaakt. Op gezette tijden werd in een luchtmonster uit het vertrek de concentratie van het ingebrachte gas bepaald en om de tien minuten of om het kwartier de temperatuur van elk der aangrenzende ruimten opgenomen. De temperatuur binnen het vertrek werd bepaald met een zelfregistreerende thermometer.

Daar het voornaamste doel van dit onderzoek, behalve het bestudeeren van den invloed der diffusie, is, den invloed na te gaan van den aard van het gebezigde indicatorgas, was het overbodig het vertrek te verwarmen. Integendeel leverde het groote voordeelen op, de temperatuur binnen het vertrek, zooveel mogelijk dezelfde te doen zijn als die in de aangrenzende ruimten, omdat in dat geval alleen de diffusie en de verschillen in soortelijk gewicht, veroorzaakt door de toevoeging van het indicatorgas, dit laatste uit het vertrek doen verdwijnen.

De eerste proeven werden genomen met koolzuur en gaven de volgende uitkomsten :

Nummer v. d. proef in de bijlagen.	Tijd.	Koolzuur-gehalte in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
I.	10.20	1.075	
	11.25	0.921	9.3
	12.35	0.800	8.1
	1.25	0.727	7.4
	2 30	0.658	6.2
	3.40	0.583	6.8
	4.30	0.540	6.2
II.	9 55	0.788	
	10.10	0.760	9.3
	11.15	0.658	8.7
	11.55	0.608	7.8
	12.55	0.550	6.6
	2.55	0.483	6.5
	3.55	0.416	6.1
	4.20	0.405	4.4
III.	10.—	1.049	
	10.25	0.978[5]	10.8
	11.20	0.886	7.0
	12.20	0.802	6.5
	1.20	0.736	5.6
	2.20	0 683	4 9
IV.	10.5	0.679	
	11.5	0.552	13.6
	12.5	0.438[5]	12.4
	1.5	0.392	10.5
	3.10	0.292	9.9
	4.5	0.260	9.3

Bij deze proeven valt in de eerste plaats op, het feit, dat zich uit de daling van het koolzuurgehalte een niet onbelangrijke luchtwisseling laat berekenen. Uit de bijgevoegde temperatuurtabellen namelijk blijkt, dat de verschillen in temperatuur van de lucht binnen het proefvertrek, met die van de lucht in de aangrenzende vertrekken, steeds zéér gering waren, zoodat daardoor slechts uitermate geringe ventileerende krachten in het leven konden worden geroepen. Was dus, zooals bij de theorie van Recknagel wordt verondersteld, de daling van het koolzuurgehalte alléén een gevolg van een ventilatie, die door temperatuurverschillen wordt veroorzaakt, dan moest deze daling véél geringer zijn dan hier werd gevonden, tenzij een buitengewoon groote porositeit van de wanden wordt verondersteld. Bij de groote dikte en den soliden bouw der muren echter bestaat grooter waarschijnlijkheid van het tegendeel daarvan [1]).

---

[1]) Zooals later zal blijken, werd de permeabiliteit van de wanden langs experimenteelen weg bepaald. Er werd gevonden dat onder een overdruk van 1 mM. water per uur door 1 M^2 van het wandoppervlak gemiddeld 0.18 M^3 lucht worden doorgelaten.

Het grootste temperatuurverschil, dat bij deze proeven heerschte tusschen de lucht binnen het vertrek en de buitenlucht, was 6.3°, waardoor (zie blz. 16) in een vertrek van 2.4 M. hoog, een ventileerende kracht van hoogstens 0.07 mM. water kan worden veroorzaakt. Zelfs wanneer wij aannemen, dat dit temperatuurverschil van 6.3°, dat gedurende korten tijd aan een enkelen wand bestond, gedurende de geheele proef aan alle wanden heeft geheerscht, en dat de maximale ventileerende kracht, die door dit temperatuurverschil kan worden veroorzaakt, over het geheele wandoppervlak heeft gewerkt, vinden wij toch voor de theoretische grootte der natuurlijke ventilatie per uur, daar het ventileerend wandoppervlak 68 M^2 is, slechts 68 × 0.07 × 0.18 = 0.86 M^3, een waarde dus die ruim vijfmaal kleiner is dan de kleinste waarde die langs den weg der koolzuurbepalingen is gevonden.

Er moeten dus andere oorzaken geweest zijn, welke het koolzuur uit het vertrek deden verdwijnen, waarbij wij natuurlijk allereerst denken aan de oorzaken, die wij reeds vroeger bespraken, namelijk de verschillen in soortelijk gewicht, door de bijmenging van het koolzuur veroorzaakt en de diffusie.

Wanneer wij echter de eerste van deze twee opvatten als oorzaak van het verdwijnen van het koolzuur, stuiten wij op hetzelfde bezwaar, als wanneer dit verschijnsel moet worden verklaard uit de heerschende verschillen in temperatuur. Immers de ventileerende krachten, veroorzaakt door het mengen der kamerlucht met ongeveer één procent koolzuur, zijn toch nog véél te gering, dan dat daardoor een dergelijke luchtwisseling veroorzaakt zou kunnen worden. De eenige oorzaak, die ons dus overblijft om het snelle afnemen van het koolzuurgehalte te verklaren is de diffusie, tenzij het koolzuur verdwijnt op een nog niet opgehelderde wijze, als gevolg van de chemische of physische eigenschappen van dit gas. Het was echter in elk geval te verwachten, dat wanneer met behulp van een ander gas, de grootte der natuurlijke ventilatie werd bepaald, daarvoor ook een andere waarde zou moeten worden gevonden. Daar namelijk de snelheid van diffusie van een gas, in nauw verband staat met het moleculairgewicht, zal een soortelijk lichter gas sneller dan het koolzuur het vertrek verlaten, en zal uit de afname der concentratie een grootere waarde voor de natuurlijke ventilatie worden berekend. Ook wanneer de snelle koolzuurafname daaraan moet worden toegeschreven, dat dit gas op een nog niet bekende wijze wordt vastgelegd, is het te verwachten, dat wanneer gewerkt wordt met een gas, dat in chemische en

physische eigenschappen belangrijk van het koolzuur verschilt, de afname in concentratie en ook de berekende luchtwisseling een andere waarde zal hebben.

De keuze viel hierbij op waterstof, vooreerst omdat het soortelijk gewicht zooveel kleiner is dan dat van koolzuur, omdat het volkomen indifferent is onder de omstandigheden, waarbij de proeven worden genomen en omdat het bovendien in iedere gewenschte hoeveelheid snel kan worden ontwikkeld, daar het gecomprimeerd in den handel verkrijgbaar is. Ook kan de bepaling er van, zooals in de bijlagen is beschreven, met voldoende nauwkeurigheid worden uitgevoerd, zonder te groote omslachtigheid.

De wijze van uitvoering dezer proeven was overigens geheel gelijk aan die van de proeven met koolzuur. De resultaten waren als volgt:

Nummer der proef in de bijlagen.	Tijd.	Waterstof-gehalte in %.	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
V.	10.15	1.64	
	11.15	1.52⁵	4.5
	12.15	1.41	4.9
	1.15	1.29	5.5
	2 15	1.19⁵	4.7
	3.15	1.09	5.7
	4 15	1.03	3.5
VI.	10.45	1.83	
	11.45	1.70	4.6
	12.45	1.62	3.0
	1.45	1.51	4.3
	2.45	1.43	3.3
	3.45	1.37	2.7

Opmerkelijk is het, dat bij deze proeven steeds een geringere luchtwisseling werd berekend, dan bij die, waar koolzuur als indicatorgas werd aangewend, niettegenstaande de temperatuurverschillen hier steeds niet minder klein waren dan bij de proeven met koolzuur, en voortdurend zorg werd gedragen dat alle omstandigheden zooveel mogelijk gelijk waren aan die bij de voorgaande proeven. Daar echter bij een vergelijking van de resultaten van proeven op verschillende tijden genomen, steeds ruimte blijft voor de veronderstelling, dat, niettegenstaande alle voorzorgen de omstandigheden toch niet dezelfde waren, zoodat de gevonden verschillen slechts toevallige zouden wezen, werden nog een tweetal proeven genomen, waarbij beide gassen tegelijk in het vertrek werden gebracht. Op gezette tijden werd telkens de concentratie van elk van beide bepaald; bij de bepaling der waterstof werd het gasmengsel eerst van koolzuur bevrijd, om te voorkomen dat fouten in de bepalingen zouden ontstaan, door het oplossen van koolzuur in het water van de gasburet en -pipet. Het resultaat dezer proeven was het volgende:

Luchtwisseling in M^3 per uur berekend uit:

H-bepaling.	CO_2-bepaling.	*H*-bepaling.	CO_2-bepaling.
6.6	11.4	4.3	8.0
1.7	8.8	3.7	7.7
6.6	8.3	5.4	5.5
3.8	—	3.7	7.5
4.4	7.5	5.1	6.6
3.3	—	3.1	—
Nummer der proef in de Bijl. VII.		Nummer der proef in de Bijl. VIII.	

Steeds werd uit de daling van de waterstofconcentratie een kleinere luchtwisseling berekend, dan uit de afname van het koolzuurgehalte der lucht.

De gassen waren vóór den aanvang der proef zeer zorgvuldig met de lucht gemengd, zoodat de gevonden verschillen onmogelijk aan onvolledige menging kunnen worden toegeschreven.

Bij het zoeken naar een verklaring van dit verschijnsel kunnen wij al dadelijk buiten beschouwing laten de ventileerende krachten, die het gevolg zijn van verschillen in temperatuur, zoowel als de krachten welke veroorzaakt worden door de aanwezigheid in de lucht van een gas met afwijkend specifiek gewicht. In beide gevallen toch, wordt het lucht-gasmengsel door die krachten als geheel in beweging gebracht en door de wanden heengevoerd, zoodat van een ontmenging zooals hier in zeker opzicht heeft plaats gehad, geen sprake kan wezen. Men zou een oogenblik kunnen meenen, dat het eene bestanddeel van het gasmengsel moeilijker door de wanden zou worden doorgelaten dan het andere, zoodat als het ware een gedeeltelijke filtratie plaats had gevonden; doch dan zou het juist de waterstof en niet het koolzuur moeten wezen, waarvan de concentratie het snelst afnam, omdat het gas met het kleinste moleculairgewicht het gemakkelijkst door de poriën der wanden zal worden heengedreven.

De derde oorzaak, die wij hebben leeren kennen voor het verdwijnen van het indicatorgas uit de atmospheer van een vertrek, was de diffusie; ook hiermede kan niet worden verklaard het verschijnsel, dat uit de afname van het koolzuurgehalte een grootere natuurlijke ventilatie wordt berekend, dan uit de afname van het water-

stofgehalte, omdat ook door de diffusie, de concentratie der waterstof sneller zou hebben moeten dalen, dan die van het koolzuur.

Uit het voorgaande moet dus worden besloten, dat behalve de reeds vermelde oorzaken, nog een andere reden moet bestaan, waardoor een indicatorgas uit de lucht van een vertrek kan verdwijnen, een oorzaak, die bij het koolzuur van grooter invloed is dan bij de waterstof, doch waarvan overigens nog niets bekend is. Later zal ik daarop terugkomen.

Nog een tweede verschijnsel valt in het oog bij vergelijking van de resultaten der proeven genomen met koolzuur, met die, welke zijn verkregen met behulp van waterstof als indicatorgas. Alle waarden voor de natuurlijke ventilatie van het proefvertrek, berekend uit de koolzuurbepalingen, worden kleiner, naarmate bij elke proef het koolzuurgehalte daalt. Reeds Pettenkofer [1]) en Forster en Voit [2]) namen ditzelfde verschijnsel waar. Dat latere onderzoekers daarop geen acht hebben geslagen, moet waarschijnlijk hieraan worden toegeschreven, dat men zich bij de bepaling der natuurlijke ventilatie veelal vergenoegt met een slechts tweetal koolzuurbepalingen te verrichten, om daaruit de gezochte grootheid te berekenen. Onder die omstandigheden bespeurt men natuurlijk niets van het verschijnsel.

Men zou ook hier geneigd zijn, te denken aan de mogelijkheid, dat de luchtwisseling juist werd veroorzaakt door de aanwezigheid van het koolzuur, omdat in dat geval, zooals wij vroeger zagen, de grootte der

---

[1]) Pettenkofer, Ueber den Luftwechsel in Wohngebäuden, S. 89.
[2]) Forster en Voit. Zeitschr. f. Biologie. 13 (1877) S. 305.

ventileerende krachten en dus ook de luchtwisseling zelf, kleiner worden met het dalen van het percentage koolzuur in de lucht. Echter zijn de krachten, teweeggebracht door de menging van de kamerlucht met ongeveer één procent koolzuur, te gering, dan dat daardoor een belangrijke luchtwisseling zou kunnen veroorzaakt worden, zoodat ook een vermindering in deze concentratie nimmer een merkbare verandering in de grootte der luchtwisseling kan teweegbrengen.

Eigenaardig hierbij is vooral ook dit, dat de waarde voor de berekende luchtwisseling bij het koolzuur, hoewel die daalt met de concentratie van het indicatorgas, toch in geen direct verband daarmede schijnt te staan. Zoo werd b.v. bij een aanvangsconcentratie van 1.075 % koolzuur, een luchtwisseling berekend van 9.3 M^3 per uur, bij een beginconcentratie van 0.679 % een luchtwisseling van 13.6 M^3 per uur, terwijl toch bij elk dezer proeven de berekende natuurlijke ventilatie afnam met het dalen van het koolzuurgehalte. Bestond een direct verband tusschen luchtwisseling en concentratie, dan moest bij het laagste koolzuurgehalte de kleinste luchtwisseling worden gevonden.

Of hetzelfde verschijnsel zich ook voordoet bij de proeven, die met waterstof als indicatorgas genomen zijn, valt uit de tot nu toe vermelde gegevens niet met zekerheid uit te maken. Er werden dus een tweetal nieuwe proeven met waterstof genomen, waarbij aan de bepalingen van de concentratie de uiterste zorg werd besteed. Bovendien werd bij een van beiden de aanvangsconcentratie hooger genomen, om het verschijnsel, indien het bestond, des te duidelijker te doen uitkomen.

Om dezelfde reden werden beide proeven veel langer voortgezet.

Nummer v. d. proef in de bijlagen.	Tijd in uren.	Concentratie verandering.	Berekende luchtwisseling per uur.
IX.	0 tot 1	1.62—1.51	4.3
	1 » 2	1.51—1.40^5	4.5
	2 » 3	1.40^5—1.29	5.3
	3 » 4	1.29—1.23	2.9
	4 » 5	1.23—1.15	4.2
	5 » 6	1.15—1.08	3.9
	6 » 7	1.08—1.03	2.9
	7 » 9	1.03—0.90	4.2
	9 » 10	0.90—0.85	3.5
	10 » 11	0.85—0.80^5	3.4
	11 » 25	0.80^5—0.39	4.2
X.	0 tot 1	2.56—2.39	4.3
	1 » 2	2.39—2.16	6.3
	2 » 3	2.16—2.03	3.8
	3 » 4	2.03—1.89	4.4
	4 » 5	1.89—1.75	4.8
	5 » 6	1.75—1.62	4.8
	6 » 7	1.62—1.52	3.9
	7 » 8	1.52—1.42	4.2
	8 » 10	1.42—1.25	3.9^5
	10 » 11	1.25—1.18	3.6
	11 » 12	1.18—1.12^5	3.0
	12 » 25	1.12^5—0.51	3.8

Vooreerst zien wij bij deze proeven, dat de cijfers voor de berekende luchtwisseling niet belangrijk afwij-

ken van die, welke bij vroegere proeven met waterstof zijn geworden. De verschillen zijn véél geringer dan die, bij de verschillende proeven met koolzuur. Bovendien merken wij op, dat, zoo er al van een daling van de grootte der natuurlijke ventilatie met het waterstofgedeelte sprake kan wezen, deze toch véél minder is dan wij bij het koolzuur hebben waargenomen.

Uit deze proeven meen ik dus te mogen besluiten, dat het verschijnsel van het dalen van de berekende luchtwisseling met het koolzuurgehalte, een gevolg is van een specifieke eigenschap van het koolzuur; althans van een eigenschap, die het koolzuur in véél sterker mate bezit dan de waterstof.

Het ligt voor de hand te veronderstellen, dat deze zelfde eigenschap van het koolzuur oorzaak is van het feit, dat met dit laatste gas steeds een grootere waarde voor de natuurlijke ventilatie werd berekend, dan met behulp van waterstof als indicatorgas. Alvorens echter hierop nader in te gaan dient te worden verklaard, door welke oorzaak de waterstof uit de atmospheer van het vertrek verdwijnt. Allereerst denken wij, bij een zoo bewegelijk gas als dit, aan de diffusie.

Bij de verschillende proeven was de concentratie

in	6	uur	gedaald	van	1.64 %	tot	1.03 %.
»	5	»	»	»	1.83 »	»	1.37 „
»	25	»	»	»	1.62 »	»	0.39 »
»	25	»	»	»	2.56 »	»	0.51 »

Passen wij op deze gegevens toe de formule (blz. 50) $\frac{c_0}{c} = e^{\frac{100\,\alpha}{I}t}$, dan vinden wij voor $\frac{100\,\alpha}{I}$ respectievelijk:

	0.08	0.06	0.06	0.06
dus voor α	0.05	0.04	0.04	0.04

Dat wil dus zeggen, dat, ingeval de waterstof alléén door diffusie was verdwenen, het „diffundeerend vermogen" van de wanden zoodanig zou moeten zijn, dat bij een constant waterstofpercentage van 1 %, door het geheele wandoppervlak, gemiddeld 42.5 liter waterstof per uur wegdiffundeerden. Dit cijfer is niet zoo groot dat daardoor de mogelijkheid, dat de waterstof alléén door diffusie verdwijnt, zou zijn uitgesloten.

Vroeger toch vonden wij (blz. 51) voor een gipscylindertje van 0.9 cM. dikte en 1 cM. diameter, voor $\frac{100\,\alpha}{I} = 1.3471$, waarin I was 290 cM³.

Denken wij ons van dit materiaal een vertrek, zooals dat waarin de proeven werden genomen, met een wanddikte van 37 cM., dan zou, daar de inhoud 62 M³ is, en het oppervlak der vrije wanden ± 68 M² bedraagt, $\frac{100\,\alpha}{I}$ voor dat vertrek zijn: 0.13. Hoewel deze berekening niet meer is dan een ruwe schatting, blijkt daaruit toch voldoende, dat een waarde van 0.06—0.08 voor een baksteenen wand, volstrekt niet ongerijmd is.

Is echter de waterstof verdwenen alleen ten gevolge van de diffusie, dan zullen, als wij met bovengenoemde waarden voor α, de concentratie's berekenen voor de tijdstippen, waarop zij ook experimenteel werden bepaald, de berekende cijfers slechts binnen de grenzen der waarnemingsfouten, van de waargenomen concentratie's mogen afwijken.

Wij krijgen evenwel het volgende:

Aanv. conc. 1.83 Eind conc. 1.37 Tijd 5 uur. $\frac{100\,\alpha}{l} = 0.0579.$		Aanv. conc. 1.64 Eind conc. 1 03 Tijd 6 uur. $\frac{100\,\alpha}{l} = 0.0775.$		Aanv. conc 1.62 Eind conc. 0.39 Tijd 25 uur. $\frac{100\,\alpha}{l} = 0.05696$		Aanv. conc. 2.56 Eind conc. 0.51 Tijd 25 uur. $\frac{100\,\alpha}{l} = 0.0645.$	
Berekend	Gevonden	Berekend	Gevonden	Berekend	Gevonden	Berekend	Gevonden
—	1.83	—	1.64	—	1.62	—	2.56
1.73	1.70	1.52	1.52^5	1.53	1.51	2.40	2.39
1.63	1.62	1.40^5	1.41	1.44^5	1.40^5	2.25	2.16
1.54	1.51	1.30	1.29	1.36^5	1.29	2.11	2.03
1.45	1.43	1.20	1.19^5	1.29	1.23	1.97	1.89
—	1.37	1.11	1.09	1.22	1.15	1.85	1.75
		—	1.03	1.15	1.08	1.74	1.62
				1.09	1.03	1.63	1.52
				0.97	0.90	1.53	1.42
				0.92	0.85	1.34	1.25
				0.87	0.80^5	1.26	1.18
				—	0.39	1.18	1.07
						—	0.51

Wij zien hieruit, dat bij de kort voortgezette proeven (in de twee eerste kolommen) de berekende waarden voor de concentratie, zeer goed overeenstemmen met de gevonden cijfers, daar de verschillen hoogstens 0 03 % bedragen en dus niet grooter zijn dan de fout der waterstofbepalingen. Dit is echter niet het geval bij de proeven, welke langer zijn voortgezet: de verschillen tusschen berekende en gevonden waarden bereiken daar een grootte van 0.12 % en zijn bijna gere-

geld niet minder dan 0.07 %; zij zijn dus te groot, dan dat zij alleen aan onnauwkeurigheden in de waterstofbepalingen zouden te wijten zijn.

Dat de berekende en gevonden waarden voor de concentratie der waterstof bij de korten tijd voortgezette proeven, wél goed overeenstemmen, is alleen het gevolg daarvan, dat zij ruim vier maal korter dan de beide anderen hebben geduurd. Wanneer wij den factor $\frac{100\alpha}{I}$ berekenen uit de aanvangsconcentratie en het waterstofpercentage na 6 uur, en met behulp dáárvan de concentratie op de tusschengelegen tijdstippen uitrekenen, vinden wij óók bij de beide laatste proeven cijfers, die hoogstens 0.03 % van de waargenomen waterstofpercentages afwijken.

Wij moeten uit deze berekeningen dus besluiten dat hetzelfde verschijnsel, dat wij vroeger bij de bepalingen met koolzuur hebben leeren kennen, zich ook voordoet bij de bepalingen der natuurlijke ventilatie waarbij waterstof als indicatorgas wordt gebezigd, zij het dan ook in veel geringer mate. Ook bij de waterstof moet dus behalve de diffusie, nog een andere oorzaak in het spel zijn, die het indicatorgas uit de atmospheer van het vertrek doet verdwijnen. De mogelijkheid bestaat echter, dat deze oorzaak hier niets anders is dan het verschil in soortelijk gewicht van binnen- en buitenlucht, teweeggebracht door de menging van de lucht met een zeker gehalte aan waterstof. Door de aanwezigheid van 2.56 procent waterstof namelijk, wordt het soortelijk gewicht van het mengsel zooveel verminderd, als overeenstemt met een temperatuurverhooging van ongeveer zeven graden. De vraag is of wij de luchtwis-

seling die van een zoodanig temperatuurverschil het gevolg moet wezen, voor de verklaring dezer kleine afwijkingen buiten rekening mogen laten.

Heeft werkelijk ten gevolge van de aanwezigheid der waterstof een luchtwisseling plaats gevonden, dan geeft de formule van blz. 64 ons het middel aan de hand, de grootte daarvan te berekenen. Deze formule luidt : [1])

$$e^{\frac{100\,\alpha}{I}t} = \frac{\frac{\beta}{I} + \frac{100\,\alpha}{I} \times \frac{1}{c}}{\frac{\beta}{I} + \frac{100\,\alpha}{I} \times \frac{1}{c_0}}$$

Noemen wij $\frac{100\,\alpha}{I} = x$ en $\frac{\beta}{I} = y$

$$e^{x\,t} = \frac{y + \frac{x}{c}}{y + \frac{x}{c_0}}$$

Passen wij deze formule toe op de resultaten van de ventilatieproef, waarbij de aanvangsconcentratie 2.56 % bedroeg. Noemen wij de concentratie die te 7.25 zou hebben bestaan c'_0 en stellen we $y + \frac{x}{c'_0} = P$ dan is dus:

$$e^{x} \times P = y + \frac{x}{2.56}$$

$$e^{2x} \times P = y + \frac{x}{2.39}$$

$$e^{3x} \times P = y + \frac{x}{2.16}$$

$$e^{4x} \times P = y + \frac{x}{2.03}$$

$$e^{5x} \times P = y + \frac{x}{1.89} \text{ enz.}$$

Door elke vergelijking van de volgende af te trekken, krijgen wij :

[1]) Als V = o wordt aangenomen.

$$P \times e^{x}\left(e^{x} - 1\right) = x\left(\frac{1}{2.39} - \frac{1}{2.56}\right)$$

$$P \times e^{2x}\left(e^{x} - 1\right) = x\left(\frac{1}{2\,16} - \frac{1}{2.39}\right)$$

$$P \times e^{3x}\left(e^{x} - 1\right) = x\left(\frac{1}{2.03} - \frac{1}{2.16}\right)$$

$$P \times e^{4x}\left(e^{x} - 1\right) = x\left(\frac{1}{1.89} - \frac{1}{2\,03}\right) \text{ enz.}$$

Door vervolgens elke vergelijking door de voorafgaande te deelen, vinden wij:

$$e^{x} = \frac{\frac{1}{2.16} - \frac{1}{2.39}}{\frac{1}{2.39} - \frac{1}{2.56}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2.03} - \frac{1}{2\,16}}{\frac{1}{2\,16} - \frac{1}{2.39}}$$

$$= \frac{\frac{1}{1.89} - \frac{1}{2\,03}}{\frac{1}{2.03} - \frac{1}{2.16}} \text{ enz.}$$

Zoodoende vinden wij voor de gemiddelde waarde van x:

$$x = \frac{100\,\alpha}{I} = 0.058.$$

Deze waarde substiteerend in de oorspronkelijke vergelijkingen, berekenen wij voor de andere onbekende:

$$y = \frac{\beta}{I} = 0.008.$$

Met behulp van deze cijfers kunnen wij de waterstofconcentratie op elk oogenblik berekenen, wanneer de aanvangsconcentratie bekend is.

De waarden die wij, uitgaande van de aanvangscon-

centratie 2.56 % aldus kunnen vinden, stemmen uit den aard der zaak goed met de gevondene waarden overeen, omdat de cijfers voor x en y daaruit zijn afgeleid. Maar ook wanneer wij de tweede waarnemingsreeks op dezelfde wijze berekenen, door van de zooeven gevonden getallen gebruik te maken, wijken de berekende cijfers, over het algemeen niet verder van de waargenomen concentratie's af dan de waarnemingsfout bedraagt :

Berekend	Gevonden	Berekend	Gevonden	Berekend	Gevonden
—	1.62	1.23	1.23	0.88	0.90
1.51	1.51	1.15	1.15	0.83	0.85
1.40	1.40[5]	1.07	1.08	0.78	0.80[5]
1.31	1.29	1.00	1.03	0.34	0.39

Alleen de berekende concentratie na 25 uur, wijkt iets meer van de waarneming af; doch verder is de overeenstemming zoo goed, dat dit geen reden behoeft te zijn de gevonden waarden voor $\frac{100\,\alpha}{I}$ en $\frac{\beta}{I}$ te verwerpen.

Nu stelt β (blz. 61) voor, het volumen lucht, dat per eenheid van tijd het vertrek verlaat, ten gevolge van een verschil in concentratie aan indicatorgas van 1% tusschen de lucht binnen het vertrek met de buitenlucht. Daar wij $\frac{\beta}{I} = 0.008$ vonden is dus $\beta = 0.496$ M^3 ($I = 62$ M^3).

De vraag rijst nu of de permeabiliteit der wanden zoodanig is, dat deze berekende waarde met de werkelijkheid overeenstemt.

Om dit uit te maken, werd de gemiddelde permeabi-

liteit der wanden van het vertrek op de volgende wijze bepaald.

Door een der wanden van het vertrek werd een zinken buis gestoken, waardoor, met behulp van een electrisch gedreven ventilator, lucht in het vertrek kon worden ingeblazen.

Wanneer het vertrek was gesloten, op dezelfde wijze als vroeger bij de ventilatieproeven is beschreven, kon deze lucht alleen ontwijken door de wanden heen en door de toevallige openingen, die, niettegenstaande alle voorzorgen, mogelijk nog waren blijven bestaan. Wanneer de ventilator in werking werd gesteld, ontstond in het vertrek een overdruk, onder invloed waarvan de lucht langs de zooeven genoemde wegen ging afvloeien. Deze overdruk nam zoolang toe, totdat een evenwichtstoestand was bereikt, waarbij dan in een zekeren tijd evenveel lucht door de buis heen werd toegevoerd, als onder invloed van den heerschenden overdruk, door de wanden heen wegstroomde. Door dus, wanneer deze evenwichtstoestand was ingetreden, de hoeveelheid instroomende lucht en den overdruk te meten, kon een cijfer worden gevonden voor de gemiddelde permeabiliteit der wanden.

Om de hoeveelheid lucht te meten, die in een zekeren tijd door de buis heen werd aangevoerd, werd deze laatste voorzien van een anemometer, die, uit het aantal omwentelingen van een door den luchtstroom gedreven vleugelrad, de gemiddelde snelheid van dien stroom leerde kennen. Daar ook de diameter van deze buis bekend was, kon de hoeveelheid lucht, die per uur in het vertrek werd gebracht, gemakkelijk worden berekend. De heerschende overdruk kon, met voor dit doel

voldoende nauwkeurigheid, worden gemeten met behulp van een eenvoudigen watermanometer.

Door den ventilator meer of minder snel te laten loopen, kon de hoeveelheid lucht, die in een bepaalden tijd in het vertrek werd gebracht, en daarmede de overdruk, grooter of kleiner worden gemaakt.

Ik verkreeg bij deze proeven de volgende uitkomsten:

Druk in mM. water.	Ingevoerde lucht in M^3 p. uur
8	98.2
7	83.3
6	74.4

Hieruit volgt, dat wanneer (gemiddeld) 12.2 M^3. lucht per uur in het vertrek worden gevoerd, een overdruk van 1 mM. water ontstaat. Deze zelfde hoeveelheid lucht stroomt dus in dienzelfden tijd onder den druk van 1 mM. water, d. i. 1 KG. per M^2., door het gezamenlijk wandoppervlak af. Daar het oppervlak der vrije wanden ongeveer 68 M^2. bedroeg, vinden wij voor de hoeveelheid lucht, die per uur, onder een druk van 1 K.G. per M^2., door één vierkante meter van den wand gaat.

$$12.2 : 68 = 0.18 \ M^3.$$

Nu is het verschil in soortelijk gewicht van lucht en van een mengsel van lucht met 1 procent waterstof 0.012, zoodat bij een hoogte van het vertrek van 2.4 M. de overdruk, door de aanwezigheid der waterstof ontstaan, hoogstens kan bedragen $24 \times 0.012 = 0.288$ gram per dM^2., dus ongeveer 0.03 KG. per M^2.

Wanneer wij aannemen dat deze kracht werkt over het geheele oppervlak der ventileerde wanden, vinden wij uit het vroeger berekende cijfer voor β (blz. 83),

voor de hoeveelheid lucht, die per uur, onder een druk van 1 KG. per M^2. gaat door 1 M^2. wandoppervlak:

$$0.03 \times 68 \times x = 0\,496$$
$$x = 0.24\ M^3.$$

een waarde dus die 0.06 M^3. of $^1/_3$ maal grooter is dan die, welke wij door directe bepaling hebben gevonden. Daar wij bij de laatste berekening hebben verondersteld, dat de maximale ventileerende kracht werkt over het geheele wandoppervlak, is de laatstgevonden waarde bovendien nog veel kleiner, dan bij meer nauwkeurige berekening zou worden gevonden.

Hieruit volgt, dat wij niet mogen aannemen, dat de verschillen, welke de gevonden waterstofconcentratie's vertoonen met die, welke uit de diffusie alléén kunnen worden berekend, uitsluitend worden veroorzaakt door de vermindering van het soortelijk gewicht van de lucht binnen het vertrek, door de bijmenging der waterstof. Wél zullen deze afwijkingen daaraan voor een groot deel moeten worden toegeschreven.

Daar komt nog bij dat wij, bij de proeven die met koolzuur als indicatorgas genomen zijn, hetzelfde verschijnsel als bij de waterstof, in véél sterker mate hebben aangetroffen. Dáár echter is het ontstaan van een eenigermate belangrijke luchtwisseling, door de toevoeging van het indicatorgas, nog meer uitgesloten, omdat vooreerst het verschil in soortelijk gewicht tusschen koolzuur en lucht veel geringer is dan dat tusschen lucht en waterstof, zoodat de ventileerende krachten, ontstaan door vermenging der lucht met een zeker percentage koolzuur, veel kleiner zijn dan die, welke optreden, wanneer de lucht met eenzelfde per-

centage waterstof wordt vermengd [1]), en omdat bovendien bij de proeven met koolzuur, een geringer percentage indicatorgas aan de lucht werd toegevoegd, dan bij de proeven met waterstof. Ook dit wijst er weder op, dat er, behalve de reeds besproken factoren, nóg een oorzaak in het spel moet zijn, die het indicatorgas uit de lucht van een vertrek doet verdwijnen.

Wanneer wij in aanmerking nemen, dat het vertrek gevormd wordt door poreuze wanden, terwijl het bekend is dat vele poreuze stoffen de eigenschap bezitten, gassen in meerdere of mindere mate in zich te verdichten, schijnt de mogelijkheid niet buitengesloten, dat hier iets dergelijks heeft plaatsgehad. Bovendien echter bestaat nog de mogelijkheid dat het koolzuur op chemische wijze is gebonden geworden. Allereerst werd nagegaan of de wanden van het vertrek werkelijk koolzuur vermochten vast te leggen, en wel op de volgende wijze :

Een flesch, gevuld met een lucht-koolzuurmengsel van willekeurige samenstelling, was gesloten met een dubbel doorboorde kurk, door welker boringen twee buizen waren gestoken. Door de eene buis, die tot aan den bodem van de flesch reikte, werd, uit een hooger geplaatst vat, water toegevoerd. De tweede buis was rechthoekig omgebogen en splitste zich in tweeën. Elk der beide takken was verbonden met een z. g. kalktoren, die op hun beurt elk weer in verbinding waren gebracht met een spiraalvormig absorbtievat volgens

[1]) Daar de heerschende temperatuurverschillen zonder bezwaar kunnen worden verwaarloosd is het natuurlijk onverschillig hoe deze krachten zijn gericht. Alleen de getalwaarde, niet het teeken der krachten is hier van invloed.

Winkler[1]), beide gevuld met een even groot volumen barytwater van gelijke sterkte, dat met phenolphtaleïne was roodgekleurd. De spiralen hadden elk een afvoerbuis, die onder water uitmondde en over welker opening een met water gevulde maatcylinder was geplaatst.

De eene kalktoren werd gevuld met grof poeder van de wanden van het proefvertrek, de andere werd losjes met watten aangevuld.

Door water uit het reservoir in de flesch met het lucht-koolzuurmengsel te laten vloeien, werd dit laatste, in een zéér langzamen stroom, door de verschillende toestellen gevoerd en ten slotte in de beide maatcylinders opgevangen. Door middel van schroefklemkranen werd de stroom in de beide helften zoodanig geregeld, dat in gelijke tijden even groote hoeveelheden gas door de spiralen werden heengevoerd.

Werd door het muurpoeder werkelijk koolzuur vastgelegd, dan moet dus het barytwater in de correspondeerende spiraal minder snel worden ontkleurd dan de oplossing in de tweede spiraal. Dit bleek inderdaad het geval te zijn, niettegenstaande het volumen der watten ongetwijfeld kleiner was dan dat van het muurpoeder, en dus het gasmengsel, dat door de contrôlespiraal stroomde, met een grooter volumen gewone lucht was gemengd.

Later werden de beide kalktorens vervangen door twee glazen buizen, de eene geheel ledig, de andere met het poeder gevuld. Ook hier was voor het ontkleuren van het barytwater in de spiraal, die met de laatste buis was verbonden, steeds meer gasmengsel

[1]) Winkler. Zeitschr. f. Anal. Chem. 21 (1882) S. 545.

noodig, dan voor de oplossing in de andere spiraal.

De getallen bij deze verschillende proeven verkregen, waren :

Hoeveelheid gasmengsel noodig ter ontkleuring :

met poeder.	zonder poeder.
550	260
200	160
250	220

Deze getallen hebben betrekking op verschillende gasmengsels en verschillende hoeveelheden barytwater.

Ik heb mij er met opzet van onthouden, hier conclusie's te maken over de hoeveelheid koolzuur, die door het gebezigde materiaal kan gebonden worden, onder anderen omdat geen zekerheid bestond, dat werkelijk ál het koolzuur uit het gasmengsel in de spiralen werd vastgelegd. Wél mag worden aangenomen, dat de absorbtie in beide toestelletjes even groot was, daar zoowel de grootte der gasbelletjes als de snelheid van doorvoeren, bij beide nagenoeg gelijk waren. Bovendien werden de spiralen bij de verschillende proeven telkens omgewisseld.

Wij mogen uit deze proeven besluiten, dat door de wanden van het vertrek koolzuur kan worden gebonden. Hierbij moest natuurlijk rekening gehouden worden met de mogelijkheid, dat de wanden nog een zekere hoeveelheid vrij alcali zouden kunnen bevatten. Inderdaad vertoonde een waterige oplossing, verkregen door eenige grammen van het muurpoeder te schudden met kokend water en na bekoeling te filtreeren, zoowel tegenover rosolzuur als tegenover phenolphthaleïne, een duidelijk alcalische reactie. Ook rood lakmoespapier werd blauwgekleurd, wanneer het niet al te kort met de vloeistof in aanraking bleef. Daar echter

calcium-carbonaat, zoowel het natuurlijke als het kunstmatig bereide zich op volkomen dezelfde wijze gedraagt [1]), was dit voor de aanwezigheid van vrij calciumhydroxyde nog geen bewijs.

Er werden nu verschillende hoeveelheden van het muurpoeder in goed gesloten fleschjes, elk voor zich geschud met 50 kubiek-centimeter heet, gedestilleerd water. Na herhaald schudden en volkomen bekoeling, werden deze zoolang in rust gelaten, tot het onopgelost gebleven deel volkomen was bezonken. Van de bovenstaande heldere vloeistof werden vervolgens 25 kubiek-centimeter afgepipetteerd, in een bekende hoeveelheid tiende normaal zuur gebracht en de overmaat zuur met alcali teruggetitreerd.

Het bleek, dat de hoeveelheid zuur, die noodig was ter neutralisatie van de opgeloste stoffen, volkomen onafhankelijk was van de aangewende hoeveelheid van het muurpoeder.

Zoo vond ik, voor de hoeveelheid alcali noodig ter neutralisatie van 10 *cc.* $^1/_{10}$ N. zuur, waaraan telkens 25 *cc.* van bovengenoemde oplossing waren toegevoegd:

Hoeveelheid muurpoeder.	Aantal cc m. alcali ter neutr.	
1 gr.	12.90	Sterkte v. d. loog 0.767 $^1/_{10}$ N.
2 »	12.90	Indicator phenolphtaleïne.
3 »	12.85	Hoeveelheid zuur, noodig ter
4 »	12.85	neutralisatie van 25 cc. oplos-
5 »	12.90	sing: 0.1 cc. $^1/_{10}$ N.
6 »	12.90	
7 »	12.90	
8 »	12.85	
10 »	12.85	

[1]) Zie ook Zeitschr. f. Anal. Chem. 44 (1905). S. 12—13

Het gebruik van nog meer muurpoeder (tot 20 gram toe) of de titratie met minder sterke alcalioplossing leverde steeds hetzelfde resultaat op. Steeds was slechts 0.1 cc. $^1/_{10}$ N. zuur noodig om 25 cc. van de oplossing te neutraliseeren.

De waargenomen alcalische reactie van de oplossing was dus alleen het gevolg van de aanwezigheid van het calciumcarbonaat. Wordt dit op de bovenbeschreven manier behandeld dan levert het ook hetzelfde titratiecijfer op.

Hoewel het nu niet mogelijk is, om, wanneer men uitgaat van een mengsel van het gebezigde poeder met een bekend percentage $Ca(OH)_2$, volgens de beschreven methode [1]) al het alcali terug te vinden, dat in de aangewende hoeveelheid van het mengsel aanwezig is, omdat een deel van het calciumhydroxyde blijkbaar wordt gebonden, wijken toch de titratiecijfers van dergelijke mengsels steeds duidelijk van dat van het calciumcarbonaat af. Ook worden deze afwijkingen des te grooter naarmate een grootere hoeveelheid van het mengsel in bewerking wordt genomen. Daar echter in dit geval bij elke hoeveelheid steeds volkomen hetzelfde titratiecijfer werd gevonden, dat bovendien geheel met dat van op dezelfde wijze behandeld $CaCO_3$ overeenkwam, mag tot de afwezigheid van vrij alcali in de wanden van het vertrek worden besloten.

Daar ook de wanden zoo droog waren, dat van een verdwijnen van het koolzuur door oplossing geen sprake kan wezen, moeten wij aannemen, dat wij met een condensatie van het gas op de poreuze wanden te doen

[1]) Lehmann. Archiv f. Hygiëne. Bnd. IX.

hebben gehad Hiervoor pleit ook, dat, wanneer bij de proef waarmede de absorbtie van koolzuur door de wanden werd aangetoond, over het materiaal, nadat het eenigen tijd met een lucht-koolzuurmengsel was in aanraking geweest, gewone lucht werd gevoerd, steeds een minder groote hoeveelheid lucht noodig was om het barytwater in de correspondeerende spiraal te ontkleuren, dan om het $Ba\,(OH)_2$ in de andere spiraal in carbonaat om te zetten. Dit bewijst, dat het geabsorbeerde koolzuur aan lucht met een gering CO_2 gehalte weer gemakkelijk wordt afgegeven. Was van een chemische binding door vrij alcali sprake geweest, dan zou dat natuurlijk onder deze omstandigheden niet hebben kunnen plaatsvinden.

Over de adsorbtie van gassen door poreuze lichamen, valt behalve enkele algemeenheden, weinig met zekerheid te zeggen. De hoeveelheid van een zeker gas, die onder bepaalde omstandigheden door een poreus lichaam kan worden vastgelegd, hangt geheel van den aard van dit lichaam af; verder zal des te meer gas geadsorbeerd kunnen worden, naarmate de concentratie van dit gas in de omringende lucht grooter is. Of echter tusschen geadsorbeerd gasvolume en concentratie een bepaalde betrekking bestaat, heeft men, voor zoover mij bekend is, nog niet uitgemaakt.

Weinig meer weet men aangaande de hoeveelheden van verschillende gassen, die door een bepaald poreus lichaam kunnen worden gebonden. In hoofdzaak bepaalt zich dit tot de kennis der volumina, welke door houtskool kunnen worden geadsorbeerd, wanneer dit zich in een atmospheer van het zuivere gas bevindt. Zoo weet

men b. v. dat een stuk houtskool van een bepaald volumen in zich kan opnemen

35	volumina	koolzuur.
9.2	»	zuurstof.
1.7	»	waterstof.
90	»	ammoniak enz.

De hoeveelheid koolzuur, die door een stof als houtskool kan worden gebonden, is dus grooter dan het volume waterstof dat door eenzelfde hoeveelheid kan worden geadsorbeerd.

Eigenaardig is het, dat uit de genomen proeven blijkt, dat ook het adsorbeerend vermogen der wanden, voor koolzuur grooter is dan voor waterstof. Een nauwkeurige vergelijking is echter nog niet mogelijk, daar wij dan in de eerste plaats de diffusiesnelheid van beide gassen zouden moeten kennen, en wij moesten kunnen vergelijken twee proeven waar de aanvangsconcentratie's der beide gassen even hoog waren. Aan deze laatste voorwaarde komen nog het meest nabij de proeven I en IX waar de aanvangsconcentratie's resp. zijn 1.075 % koolzuur en 1.62 % waterstof.

Bij de eerste proef daalde het koolzuurgehalte in 65 minuten van 1.075 % tot 0.921 %, zoodat daar 0.095 M^3 koolzuur uit de atmospheer van het vertrek verdwenen. Bij de tweede proef verminderde het percentage waterstof in 1 uur van 1.62 tot 1.51. Daar verlieten dus 0.062 M^3 waterstof het vertrek. Nemen wij in aanmerking dat de adsorbtie sterker is naarmate het percentage van het vreemde gas in de lucht hooger is, terwijl ook de overige oorzaken voor het verdwijnen van het indicatorgas (verschil in *S. G.* met de lucht en diffusie) bij de waterstof meer dan bij het koolzuur, hun invloed

deden gelden, dan volgt daaruit, dat het koolzuur in meerdere mate dan de waterstof door de wanden wordt geadsorbeerd.

Het zou natuurlijk te gewaagd zijn om alleen op grond hiervan eenigerlei conclusie te willen trekken, aangaande het adsorbeerend vermogen der wanden voor andere gassen. Het kwam mij echter wel belangwekkend voor, enkele ventilatieproeven te doen met zuurstof als indicatorgas, omdat dit bij de adsorbtie door houtskool juist een plaats tusschen koolzuur en waterstof inneemt. Bovendien verschilt het soortelijk gewicht minder dan dat der beide andere gassen van het specifiek gewicht der lucht en is de snelheid waarmede het door een poreuzen wand diffundeert, aanzienlijk minder groot dan bij waterstof het geval is. Om deze laatste reden verdient het als indicatorgas den voorkeur boven waterstof, om de eerste reden is het boven koolzuur te verkiezen.

Overigens werden de proeven weer op volkomen dezelfde wijze genomen; de wijze waarop de zuurstofbepalingen werden verricht, is in de bijlagen beschreven.

Ik verkreeg de volgende uitkomsten:

Tijd.	*O* conc.	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
9.30	22.39	
10.30	22.31	3.6
11.30	22.24	3.3
12.30	22.18⁵	2.7
1.30	22.14	2.3
2.30	22.11	1.6
3.30	22.08	1.6
4.30	22.06	1.1

N°. der proef in de bijlagen XI.

Tijd.	*O* conc.	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
10.30	22.37	
11.30	22.25	5.5
12.30	22.15	5.0
1.30	22.12	1.6
2.30	22.05	3 8⁵
3.30	22.01	2.3
4.30	21.99	1.2

N°. der proef in de bijlagen XII.

Daar hier van een luchtwisseling ten gevolge van temperatuurverschillen, evenmin als bij de vroeger vermelde proeven sprake kan zijn geweest en de diffusie ongeveer viermaal minder groot moet zijn geweest dan bij de waterstof, zijn de resultaten van deze proeven volkomen vergelijkbaar met die, welke met koolzuur als indicatorgas zijn verkregen. Evenals daar zal ook bij de zuurstof, de voornaamste oorzaak van het afnemen der concentratie, in de adsorbtie door de wanden moeten worden gezocht.

Het concentratieverschil van de zuurstof binnen het vertrek met die in de buitenlucht bedroeg bij deze proeven aanvankelijk 1.43 % en 1.41 %, de afname in concentratie gedurende het eerste uur was resp. 0.08 % en 0 12 %, zoodat resp. 0.0496 en 0.0744 M^3 zuurstof gedurende dien tijd uit het vertrek zijn verdwenen. Niettegenstaande de aanvangsconcentratie hooger was dan bij de reeds vroeger vermelde ventilatieproef met koolzuur, waar het percentage indicatorgas aanvankelijk 1.075 % bedroeg, zijn deze hoeveelheden geringer dan de hoeveelheid koolzuur, welke bij deze laatste proef verdween.

Klaarblijkelijk is dus het adsorbeerend vermogen der wanden voor zuurstof kleiner dan dat voor koolzuur.

Bij de vergelijking van de proeven met zuurstof met die, waarbij waterstof als indicatorgas werd gebezigd, moeten wij in de eerste plaats in het oog houden, dat de invloed der diffusie bij dit laatste gas zooveel grooter is dan bij de zuurstof. Hoewel dus de hoeveelheden zuurstof, die gedurende het eerste uur zijn verdwenen slechts weinig hooger zijn dan de quantiteiten waterstof, die telkens in het eerste uur het proefvertrek verlieten,

mogen wij daaruit toch besluiten, dat gedurende de eerste uren het adsorbeerend vermogen der wanden voor zuurstof grooter is geweest dan dat voor waterstof, omdat, terwijl de zuurstofconcentratie nagenoeg alléén door de adsorbtie afnam, de afname van het waterstofgehalte behalve door adsorbtie, ook nog door een krachtige diffusie plaats vond.

Het adsorbeerend vermogen der wanden is dus het grootst voor koolzuur, het kleinst voor waterstof. Het vermogen om zuurstof vast te leggen, ligt tusschen deze beiden in.

Het verschijnsel, dat wij reeds vroeger bij het koolzuur hebben waargenomen, n.l. dat het cijfer voor de berekende luchtwisseling afnam met het dalen van het koolzuurgehalte, en dat wij ook hebben aangetroffen, zij het dan ook veel minder duidelijk, bij de bepalingen met waterstof, doet zich ook bij deze laatste proeven met zuurstof weder zeer duidelijk voor. De verklaring ervan kan even eens worden gevonden in het adsorbeerend vermogen der wanden voor verschillende gassen.

Laten wij voor een oogenblik aannemen, dat de concentratie van het indicatorgas, dat wij voor het gemak zullen veronderstellen koolzuur te zijn, binnen het vertrek constant blijft, terwijl de concentratie daarvan in de buitenlucht voortdurend 0.04 % blijft. Vóór den aanvang der proef hebben dan de wanden zooveel koolzuur geadsorbeerd, als overeenstemt met de concentratie van 0.04 % in de omringende lucht.

Zoodra het koolzuur in het vertrek is gebracht, zal de binnen-oppervlakte der wanden met een zekere snelheid koolzuur beginnen te adsorbeeren. Daar echter deze snelheid, dat is, de hoeveelheid koolzuur die per

tijdseenheid door de wanden wordt vastgelegd, niet alleen afhankelijk is van de concentratie van dit gas in de omringende lucht, maar ook van de hoeveelheid, die reeds door de adsorbeerende stof is opgenomen, zal, naarmate meer koolzuur door den wand wordt vastgelegd, het opnemen van elke nieuwe hoeveelheid moeilijker geschieden. De koolzuuradsorbtie door de oppervlakkige laag van de wanden, gaat dus ook hoe langer hoe langzamer.

Het geadsorbeerde koolzuur blijft echter niet op deze buitenste laag gelocaliseerd. Door diffusie zal het zich door den wand heen verplaatsen, om ten slotte aan de buitenlucht te worden afgegeven. De oppervlaktelaag aan de binnenzijde der wanden verliest dus voortdurend koolzuur, welk verlies weer moet worden aangevuld door nieuwe hoeveelheden, die aan de atmospheer van het vertrek worden onttrokken.

De eerste hoeveelheden koolzuur, die van de oppervlakte naar het meer inwendig gelegen deel van den wand diffundeeren, ontmoeten op hun weg, reeds onmiddellijk onder de oppervlakte, lagen die slechts zooveel koolzuur hebben opgenomen, als met de concentratie van 0.04 % overeenkomt, doch die, evengoed als de oppervlakkige laag, het vermogen bezitten gassen te adsorbeeren, zoodat een groot deel ervan onmiddellijk wordt vastgelegd. Is dit echter eenmaal geschied, dan kunnen deze lagen van een volgende hoeveelheid koolzuur die tot hen doordringt, slechts een veel kleiner deel adsorbeeren, omdat zij reeds gedeeltelijk met koolzuur verzadigd zijn. Zoodoende wordt als het ware de weerstand, dien de wand biedt tegen het doordringen van het koolzuur, voortdurend grooter, zoodat het kool-

zuurverlies, dat de oppervlakkige laag in opeenvolgende gelijke tijden ondergaat, voortdurend kleiner wordt.

Terwijl dus de oppervlakkige laag meer en meer met koolzuur verzadigd raakt, wordt ook de oorzaak, die dit verzadigd geraken tegenwerkt, de koolzuurdiffusie naar het inwendige der wanden, voortdurend minder. De koolzuuropname uit de atmospheer van het vertrek, zal dus ook hoe langer hoe langzamer geschieden. Ten slotte wordt een stationaire toestand bereikt, wanneer de geheele wand zooveel koolzuur heeft opgenomen, als bij de bestaande concentratie mogelijk is; een even groote hoeveelheid als dan aan de eene zijde van den wand, in een bepaalden tijd wordt onttrokken aan de lucht binnen het vertrek, wordt in denzelfden tijd, aan de andere zijde aan de buitenlucht afgegeven, m. a. w. het koolzuur diffundeert dan eenvoudig door den (met koolzuur verzadigden) wand heen. Daar reeds bij een constant gedacht koolzuurgehalte der lucht binnen het vertrek, de hoeveelheid van dit gas, dat in een zekeren tijd het vertrek verlaat, bij den aanvang der proef, grooter is dan later, zal dit in nog sterker mate het geval zijn, wanneer, door iedere hoeveelheid koolzuur, die aan de lucht wordt onttrokken, tegelijk de concentratie daarvan afneemt. In dat geval zullen de wanden iets eerder met koolzuur zijn verzadigd, dan in het vroeger veronderstelde geval. Ook zullen dán de hoeveelheden koolzuur, die in een zekeren tijd worden opgenomen en afgegeven, niet meer geheel aan elkander gelijk zijn, maar zal iets meer koolzuur den wand verlaten, dan daarin aan de binnenzijde doordringt, omdat een concentratieafname binnen het vertrek, gepaard moet gaan met een vermindering van de hoeveelheid

koolzuur, die door de wanden is vastgelegd. De diffusie is ook dan weer de eenige oorzaak, die een concentratievermindering van het koolzuur teweegbrengt.

Wanneer dus geen andere oorzaken dan alleen de adsorbtie door de wanden en de diffusie een vermindering van het gehalte aan indicatorgas der lucht veroorzaken, dan zullen wij, als de proeven zoolang worden voortgezet, dat de beschreven eindtoestand is bereikt, bij verschillende gassen waarden voor de berekende luchtwisseling moeten vinden, die zich onderling verhouden als de diffusiesnelheden der verschillende gassoorten.

Berekenen wij de grootte der luchtwisseling uit de laatstgevonden waterstofconcentratie's bij de lang voortgezette proeven van blz. 76 (bijlagen IX en X), dan vinden wij daarvoor respectievelijk 0.061 *I* en 0.068 *I*, gemiddeld 0.0645 *I*.

Aannemend dat die bovenbeschreven eindtoestand toen was ingetreden, zoodat de verdwijning van de waterstof alleen door diffusie geschiedde, stelt dit cijfer niets anders voor, dan de vroeger voor dat geval berekende factor 100α (blz. 49).

Voor de berekende luchtwisseling, bij een even lang voortgezette proef met zuurstof, moet dus, onder overigens gelijke omstandigheden worden gevonden :

$$\tfrac{1}{4} \times 0.0645\, I = 0.0161\, I.$$

De proef met zuurstof van blz. 94 (bijlage XII) werd met dit doel den volgenden dag nog vervolgd, terwijl gedurende den nacht alles in denzelfden toestand werd gelaten.

Ik vond (bijlage XIII):

Tijd.	Zuurstof-concentratie.
9.30	21.57
10.30	21.57
11.30	21.56
12.30	21.52
1.30	21.53

De luchtwisseling per uur, berekend uit de eerste en laatste concentratie [1]) is 0.0169 I, een waarde dus, die met het cijfer uit de waterstofbepalingen berekend, goed overeenstemt. Uit het feit, dat de waarden voor de luchtwisseling, berekend uit de beide laatste zuurstofbepalingen van de proeven XI en XII, niet belangrijk van de zooeven gevondene afwijken, blijkt, dat toen reeds de eindtoestand, waarbij de wanden met zuurstof waren verzadigd, was ingetreden.

Daar wij thans de waarde van $100\,\alpha$ voor het onderzochte vertrek, ook voor verschillende gassen, hebben leeren kennen, en de grootte van β voor de verschillende indicatorgassen uit de bepaling der permeabiliteit kan worden berekend, is het mogelijk na te gaan, hoe groot de adsorbtie van het indicatorgas bij elke proef moet zijn geweest, door toepassing van de formule van blz. 64, voor het geval dat V (de luchtwisseling door temperatuurverschillen) $= 0$ is.

Deze formule wordt dan:

$$e^{\frac{100\,\alpha}{I}\,t} = \frac{\frac{\beta}{I} + \frac{100\,\alpha}{I} \times \frac{1}{c}}{\frac{\beta}{I} + \frac{100\,\alpha}{I} \times \frac{1}{c_0}}$$

[1]) De waarden der berekende luchtwisseling voor elk uur afzonderlijk zijn hier niet vermeld Daaraan is weinig waarde te hechten, omdat

Voor $\frac{100\,\alpha}{I}$ vonden wij: voor

waterstof. . . .	0.0645	en dus voor
zuurstof	0.0161	
koolzuur	0.0137[5]	

De permeabiliteit van de wanden was zoodanig, dat onder een druk van 1 K.G. per M^2, per uur gemiddeld 0.18 M^3 lucht door elken vierkanten meter werd doorgelaten. Daar β (zie blz. 61) voorstelt, de hoeveelheid lucht, die per uur door het geheele wandoppervlak wordt doorgelaten, als het verschil in concentratie van het indicatorgas in de lucht binnen het vertrek en de buitenlucht 1 % bedraagt, vinden wij voor $\frac{\beta}{I}$,

voor waterstof. . .	0.00592
zuurstof	0.00067
koolzuur	0.00318

Wanneer wij deze waarden voor $\frac{100\,\alpha}{I}$ en $\frac{\beta}{I}$ in de bovenstaande formule invoeren en uitgaande van de beginconcentratie (c_0) de concentratie na ongeveer 1 uur (c) berekenen, vinden wij hoogere cijfers dan in werkelijkheid zijn waargenomen. Het verschil daartusschen is te verklaren door adsorbtie van het indicatorgas (zie blz. 102).

Natuurlijk zijn de gevonden cijfers voor de hoeveelheid geadsorbeerd indicatorgas slechts bij benadering juist, daar de waarden voor $\frac{\beta}{I}$ zijn verkregen, door aan te nemen dat de maximale kracht, die door het verschil in soortelijk gewicht kan worden veroorzaakt, over het geheele vrije wandoppervlak (68 M^2) werkt.

---

de verschillen der opeenvolgende concentratie's kleiner zijn dan de fouten der zuurstofbepaling.

Ook zijn de cijfers voor $\frac{100\alpha}{l}$ slechts een gemiddelde uit twee bepalingen. Aan deze oorzaken moet het worden

In dicator-gas	No. der proef	c_0	t in uren	c Gevonden	c Berekend	Verschil	Hoeveelheid geads ind. gas in Liters
Koolzuur	I.	1.075	$\frac{65}{60}$	0.921	1.055	0.134	83.1
»	II.	0.788	$\frac{80}{60}$	0.658	0.771	0.113	70.6
»	III.	1.049	$\frac{80}{60}$	0.886	1.025	0.139	86.2
»	IV.	0.679	$\frac{60}{60}$	0.552	0.668	0.116	71 9
Waterstof	V.	1.64	1	1.52[5]	1.52[5]	—	—
»	VI.	1.83	»	1.70	1.70	—	—
»	IX.	1.62	»	1.51	1.51	—	—
»	X.	2.56	»	2.39	2.37	—	—
Zuurstof	XI.	1 43 [1])	1	1.35	1 40[5]	0.055	34.1
»	XII.	1.41	»	1.29	1.38[5]	0.095	58.9

toegeschreven, dat bij de proeven met waterstof meestal geen, eens zelfs (X) een negatieve adsorptie wordt gevonden. Dit wijst er op, dat de gevonden cijfers voorstellen het minimum der adsorbtie, die onder de heerschende omstandigheden door de wanden kan plaats hebben.

[1]) Concentratie*verschil* met de buitenlucht.

Daar de adsorbtie van het koolzuur door de wanden en de echte natuurlijke ventilatie, door geheel verschillende omstandigheden worden beheerscht (de eerste door den aard der wanden en het percentage koolzuur, de tweede door temperatuurverschillen), zal bij een gegeven vertrek, en een bepaalde aanvangsconcentratie van het koolzuur, de fout door de adsorbtie veroorzaakt, procentisch des te grooter zijn, naarmate het heerschende temperatuurverschil en dus ook de eigenlijke natuurlijke ventilatie geringer is.

Toch kan ook, onder omstandigheden, waarbij de natuurlijke ventilatie niet onaanzienlijk is, de fout door de adsorbtie veroorzaakt, een belangrijke grootte bereiken. Om dit nader toe te lichten, zullen wij aannemen, dat bij enkele bepalingen, aan de litteratuur ontleend, de wanden der onderzochte vertrekken hetzelfde adsorbeerend vermogen voor koolzuur bezaten als voor die van het proefvertrek werd gevonden, en bovendien aannemen, dat bij die proeven alleen door de verticale muren koolzuur werd vastgelegd, omdat vloer en zoldering veelal van ander materiaal zijn vervaardigd.

Bij de reeds vaker vermelde proeven van S w a a b, werd de tweede koolzuurbepaling in den regel twee uren na de eerste verricht; de gemiddelde adsorbtie van koolzuur bedroeg bij het onderzochte vertrek gedurende een even langen tijd, gemiddeld 1.265[1]) liter per vierkanten meter, bij een gemiddelde aanvangsconcentratie van ± 0.9 $^0/_0$.

---

[1]) Bij de berekening hiervan is niet, zooals voor de diffusie, het v r ij e wandoppervlak in rekening gebracht, maar de totale oppervlakte der poreuze wanden n. l. 100 M².

Om dus de hoeveelheid koolzuur te vinden, die bij de proeven van Swaab, na twee uur nog aanwezig zou zijn geweest, als geen adsorbtie door de verticale wanden had plaatsgevonden, moeten wij de hoeveelheid, berekend uit de door hem gevonden eindconcentratie (c) vermeerderen met $O \times 1.265$ liter, als O het oppervlak der verticale wanden is. Hieruit kunnen wij een gecorrigeerde eindconcentratie (c') vinden. Uit deze c' en de aanvangsconcentratie c_0 kunnen wij een waarde voor de natuurlijke ventilatie $\left(\frac{V}{T}\right)$ berekenen, waaruit de invloed der adsorbtie is verdwenen. Echter kunnen voor deze correctie alleen die proeven in aanmerking komen, waarbij de aanvankelijke koolzuurconcentratie niet te veel afwijkt van het gemiddelde van 0.9 %, waarvoor de adsorbtie van 1.265 liter is berekend.

Inhoud v. h. vertrek.	Hoogte.	O	c_0	c	Geads. CO_2 in liters.	c'	Natuurlijke ventilatie.		Fout in %
							ongecorr.	gecorr.	
84.5	2.2	54.6	1.15	0.19	69.0	0.27	1.00	0.78	22
52.0	2.3	43.7	1.12	0.19	55.3	0.30	0.99	0.71	28
28.6	2.0	30.4	1.18	0.31	38.5	0.44	0.72	0.52	29
140.0	3.6	90 0	0.71	0.08	124.0	0.16	1.40	0.85	39
52.0	2.3	43.7	0.62	0.13	55.3	0.24	0.93	0.53	43

Hieruit blijkt dus, dat óók bij vrij aanzienlijke ventilatie grootheden (0.72 — 1.4), door de adsorbtie aanmerkelijke fouten kunnen worden veroorzaakt. Deze worden véél grooter wanneer de eigenlijke natuurlijke ventilatie gering is.

Voor het onderzochte vertrek b. v. vonden wij reeds vroeger (blz. 69) dat de natuurlijke ventilatie, die door een temperatuurverschil van 6.3° zou ontstaan, hoogstens zou kunnen bedragen 0.86 M^3 per uur. Wanneer het verschil tusschen de temperatuur van het vertrek en die van de buitenlucht dus 19° bedraagt, zal de luchtwisseling ook ongeveer drie maal zoo groot zijn en dus hoogstens 2.6 M^3 per uur bedragen. Bij een gemiddelde aanvangsconcentratie van 0,9 % was de adsorbtie zoodanig, dat bij zéér geringe temperatuurverschillen, een luchtwisseling van ongeveer 10 M^3 per uur werd berekend. Was deze bepaling dus verricht bij 19° temperatuurverschil, dan zou voor de luchtwisseling zijn gevonden 2.6 + 10 = 12.6 M^3, terwijl die in werkelijkheid slechts hoogstens 2.6 M^3 bedroeg.

De verhouding tusschen werkelijke en gevonden waarden voor de natuurlijke ventilatie zou in dat geval dus geweest zijn ongeveer 1 : 5.

CONCLUSIE'S.

De resultaten van het voorafgaande onderzoek, laten zich als volgt samenvatten:

De gebruikelijke bepaling der natuurlijke ventilatie, dat is van de luchtwisseling, die in vertrekken optreedt ten gevolge van verschillen in temperatuur tusschen binnen- en buitenlucht, en die bij afwezigheid van eigenlijke ventilatieinrichtingen, bij gesloten vensters en deuren, plaats vindt, is onderhevig aan verschillende fouten.

Immers, behalve door de natuurlijke ventilatie, die men wil bepalen, wordt het verdwijnen van het, bij deze bepaling in het vertrek gebrachte koolzuur óók teweeggebracht door:

1e het verschil in specifiek gewicht dat, door de enkele bijmenging van het koolzuur, ontstaat tusschen de lucht binnen het vertrek en de buitenlucht;

2e de diffusie;

3e de adsorbtie door de wanden.

De grootte dezer fouten is afhankelijk van de omstandigheden, waaronder de proef wordt genomen.

Zoowel door theoretische berekening, als door bepa-

ling van de grootte der natuurlijke ventilatie met behulp van verschillende indicatorgassen, heb ik getracht, omtrent den aard en de orde van grootte dezer fouten nader inzicht te verkrijgen.

De fouten nu, worden door verschillende factoren op verschillende wijze geïnfluenceerd; in het algemeen echter is hun invloed bij de bepaling der natuurlijke ventilatie te grooter, naarmate deze zelve kleiner is.

De invloed der diffusie is onafhankelijk van de koolzuurconcentratie, doch hangt alleen af van de meerdere of mindere porositeit der wanden.

De invloed der beide andere oorzaken daarentegen, is te grooter, naarmate met een hooger aanvangsconcentratie van het koolzuur wordt gewerkt en wordt kleiner, naarmate de proef langer wordt voortgezet.

De fout, veroorzaakt door de adsorbtie. neemt af doordien de wanden zich meer en meer in evenwicht stellen met de heerschende koolzuurconcentratie; de invloed van het soortelijk gewicht vermindert, omdat deze evenredig is met de concentratie, welke uit den aard der zaak voortdurend afneemt.

Wat de orde van grootte dezer fouten betreft, deze is onafhankelijk van de oorzaak, die de eigenlijke natuurlijke ventilatie doet tot stand komen, namelijk het verschil in temperatuur binnen en buiten het vertrek, en is dus relatief des te grooter, naarmate dit temperatuurverschil, en daarmede de natuurlijke ventilatie zelf, kleiner is. Heerscht dus in een vertrek, b. v. door een opzettelijk aangebrachte ventilatieinrichting, een krachtige luchtwisseling, dan zal, wanneer deze op de gebruikelijke wijze wordt bepaald, de fout, procentisch gerekend, gering kunnen zijn.

De invloed van het veranderd soortelijk gewicht, is, per procent toegevoegd koolzuur, ongeveer overeenkomend met twee graden temperatuurverschil; men kan in de litteratuur voorbeelden aantreffen van werkelijk uitgevoerde bepalingen der natuurlijke ventilatie waarin deze fout twee, drie, tot zelfs meer dan zes malen grooter is dan de grootheid, die eigenlijk moest worden bepaald. Ook zelfs bij vrij groote verschillen in temperatuur binnen en buiten het vertrek kan, door het hoog opvoeren van het aanvankelijk koolzuurgehalte, zooals vaak wordt gedaan om duidelijke verschillen tusschen begin- en eindconcentratie te verkrijgen, de fout toch nog 30 % en meer van de te bepalen grootheid bedragen.

De richting waarin deze fout werkt, is afhankelijk van de omstandigheid of de buitentemperatuur hooger of lager is dan die binnen het vertrek. Is, zooals gewoonlijk, de temperatuur der buitenlucht de laagste, dan zal de invloed van het, door de koolzuurtoevoeging verhoogde soortelijk gewicht, de natuurlijke ventilatie tegenwerken; een gas, dat soortelijk lichter is dan lucht, zooals waterstof, zal deze daarentegen bevorderen.

Is de aangewende koolzuurconcentratie niet bijzonder hoog, dus b. v. omstreeks 1 %, en het temperatuurverschil tusschen de lucht binnen het vertrek en de buitenlucht niet te gering, dus b. v. 10° of meer, dan is de invloed van deze fout niet zoo aanzienlijk.

De beide andere fouten, veroorzaakt door de diffusie en door de adsorbtie door de wanden, werken echter steeds in denzelfden zin. Onafhankelijk van de eigenlijke natuurlijke ventilatie, veroorzaken zij steeds een vermindering van het koolzuurgehalte, en doen dus de

bepaling van de luchtwisseling steeds een te hoog cijfer opleveren.

De invloed der diffusie hangt geheel af van den aard der wanden. Bij het onderzochte vertrek was die invloed slechts gering; bij vertrekken met meer poreuze wanden zal ongetwijfeld de fout eenige malen grooter kunnen zijn. De verkregen gegevens laten echter niet toe, daarover schattingen te maken.

De grootste fout evenwel wordt teweeggebracht door de koolzuuradsorbtie door de wanden; de grootte daarvan liet zich, bij enkele aan de litteratuur ontleende proeven, schatten op twintig tot veertig procent; daar zij echter geheel onafhankelijk is van de oorzaak der natuurlijke ventilatie zelve, kan zij bij kleine ventilatiegrootheden deze ook eenige malen overtreffen, zooals bij het onderzochte vertrek inderdaad het geval was.

Met andere woorden: de gebruikelijke wijze van bepalen der ventilatie, uit de snelheid waarmede de concentratie van een ingebracht koolzuurgehalte afneemt, zooals die sinds Pettenkofer's verhandeling van 1858 regelmatig wordt toegepast bij het onderzoek van allerlei lokalen, levert cijfers voor de luchtwisseling, die zeker te groot zijn; soms zeer weinig, zooals bij vertrekken met krachtige kunstmatige ventilatie, soms ook eenige malen te groot en dit laatste juist dan, als de natuurlijke ventilatie zelve klein is. Het enorme verschil tusschen de door Recknagel theoretisch berekende ventilatie en die welke veelal bij de proeven wordt gevonden, vindt dus, althans voor een groot deel, zijn verklaring in fouten van de proeven, niet van de theorie, en behoeft volstrekt niet uitsluitend geschoven te worden op rekening van slecht sluitende deuren en ramen, of,

als men daarmede nog niet uitkomt, op de zoo vaak in de litteratuur te hulp geroepen »Risse und Spalte" in het metselwerk.

Onze muren sluiten, anders gezegd, in den regel veel beter af, dan men zich op grond der gebruikelijke ventilatieproeven nog zoo vaak voorstelt, en het verrichtte onderzoek is een argument te meer voor de noodzakelijkheid van opzettelijke ventilatieinrichtingen, wanneer men voor een behoorlijke luchtverversching in een vertrek wil zorg dragen.

Van dit standpunt vinden verschillende ervaringen uit het dagelijksch leven hun rationeele verklaring. Indien inderdaad de natuurlijke ventilatie zoo groot was, als uit vele der gebruikelijke ventilatieproeven schijnt voort te vloeien, moest een merkbaren invloed gevoeld worden op de bewoonbaarheid van een vertrek, als de poreuze wanden daarvan door bedekken met een cementlaag, of door oliën of verven ondoordringbaar worden gemaakt. Inderdaad bespeurt men dien invloed niet.

Omgekeerd verklaart zich hieruit ongedwongen de duidelijke invloed van vaak primitieve ventilatieinrichtingen op de »frischheid" van een vertrek. De verhouding tusschen de hiermede verkregen luchtwisseling en de natuurlijke ventilatie is in werkelijkheid veel gunstiger, dan uit de gebruikelijke ventilatieproeven kan worden opgemaakt. Als voorbeeld van een zoodanige eenvoudige ventilatieinrichting kan de gewone kachel worden genoemd, en zoo mogen wij dan ook wel besluiten, dat de »benauwde warmte" waarover bij centrale verwarming zoo vaak wordt geklaagd, niet moet worden verklaard uit de wijze van verwarming van het vertrek, of uit oververhitting der lucht of uit droge distillatie

van organische stof op de oppervlakte der verwarmingstoestellen, zooals veelal geschiedt, maar alleen uit het ontbreken van ventilatieinrichtingen. Kachels hebben een hoogere temperatuur dan stoombuizen en het organische stof valt evengoed op de eerste als op de laatste, maar kachels ventileeren en stoom- of heetwaterbuizen niet.

Dit alles wijst er dus op, dat de doorlaatbaarheid der wanden en de grootte der natuurlijke ventilatie worden overschat, en dat het aanbrengen van kunstmatige ventilatie-inrichtingen vaker noodig zal zijn, dan men uit de bepalingen der natuurlijke ventilatie zou mogen besluiten.

ANALYTISCHE METHODEN

EN

BIJLAGEN.

Analytische Methoden.

1. *Bepaling van het koolzuur.*

Uit de buitengewoon talrijke methoden tot bepaling van het koolzuur in gasmengsels, koos ik die, welke bekend is onder den naam van de Pettenkofersche methode [1]).

Een flesch van bekenden inhoud wordt met het koolzuurhoudende mengsel gevuld, een bekend volumen barytwater van bekende sterkte daaraan toegevoegd en de flesch vervolgens gesloten met een gummikapje. Nadat men het barytwater, onder herhaald schudden, zoolang met het te onderzoeken gasmengsel in aanraking heeft gelaten, dat men zeker is, dat al het aanwezige koolzuur is gebonden, wordt de vloeistof overgebracht in een glazen vat, waarin onder afsluiting van het koolzuur van de lucht, het gevormde baryumcarbonaat kan bezinken. Een

[1]) Zooals Pettenkofer trouwens zelf toegeeft (Luftwechsel S. 9) was reeds veel vroeger (1835) door H. H. Watson dezelfde methode tot CO_2 bepaling bedacht. Journ. f. prakt. Chemie 6 (1835) S. 75 ref. uit Report of the fourth meeting of the British Association. Ook Bineau (Ann. de Chim. et de Phys. 3e serie 42 (1854) p. 428) beschrijft een dergelijke methode.

bekend volumen van de heldere bovenstaande vloeistof wordt dan afgepipetteerd en getitreerd met zuur van bekende sterkte. Het verschil tusschen de hoeveelheid $Ba(OH)_2$, die aldus wordt teruggevonden en de hoeveelheid, die oorspronkelijk was toegevoegd, leert de hoeveelheid baryt kennen, die voor de binding van het aanwezige koolzuur is verbruikt.

Tegen het onveranderd toepassen dezer methode deden zich hier echter de volgende bezwaren op. Vooreerst kon de gebruikelijke manier van monstername niet worden gevolgd. Men is gewoon de monstername aldus te verrichten, dat men in het vertrek zelf, waarin het koolzuurgehalte moet worden bepaald, met behulp van een blaasbalg zooveel lucht door de flesch blaast, dat men zeker is dat alle lucht, die zich oorspronkelijk daarin bevond, is verwijderd. Daar het proefvertrek hier niet mocht worden betreden, terwijl de ventilatieproeven in gang waren, moest de monstername van buiten af geschieden en wel in een atmospheer met een geringer CO_2 gehalte dan die binnen het proefvertrek.

In de tweede plaats geeft bij deze methode het toevoegen van het barytwater en het overbrengen daarvan uit de flesch, waarin de absorbtie heeft plaats gehad, naar het vat, waarin het baryumcarbonaat moet bezinken, altijd aanleiding tot fouten. Het laten bezinken van het baryumcarbonaat in de absorbtieflesch zelf brengt ook zijn eigenaardige bezwaren mede.

Op de volgende manier werden deze moeilijkheden uit den weg geruimd. De absorbtieflesschen, waarvan de rand vlak was afgeslepen, werden aan den hals voorzien van een koperen band, waaraan, tegenover elkaar,

twee spiraalveeren waren bevestigd. De flesch wordt voor de monstername in omgekeerden toestand, op een drievoet geplaatst en gesloten met een vlak stuk caoutchouk dat op een koperen plaat is vastgemaakt. De dikte van dit stuk gummi is ongeveer $1\,^1/_2$ cM.; de vorm is zooals in fig. 3 is aangegeven: de kleinste diameter is gelijk aan de middellijn van den hals van de flesch, de grootste diameter is iets meer dan $1\,^1/_2$ maal zoo groot. In dit sluitstuk bevinden zich twee, in de lengte-as gelegen, ronde openingen, waarvan de middelpunten gelegen zijn op een afstand van het uiteinde, gelijk aan den halven diameter van den hals der flesch. De openingen in het koper zijn iets grooter dan die in het caoutchouk. Door een dezer boringen wordt de hals gestoken van een vrij hoog fleschje van iets meer dan 90 cc. inhoud, zóódanig, dat de rand van den hals nog juist niet aan de andere zijde uitsteekt. Dit fleschje wordt vervolgens eerst koolzuurvrij gemaakt door er een stroom CO_2 vrije lucht door te blazen, daarna gevuld met 90 c. c. baryt van bekende sterkte, en gesloten met een gummistop. In de tweede boring van het sluitstuk steekt een vrij wijde glazen buis, aan beide zijden open, en voorzien van een aangesmolten nauwer zijbuisje. Het eene einde van deze wijde buis komt gelijk met de vrije oppervlakte van het caoutchouk, het andere einde is gesloten door een stukje gummislang, waardoor gasdicht een nauwere buis is gestoken, die iets langer is dan de hoogte van de flesch, en zonder veel moeite op en neer kan worden geschoven.

Correspondeerend met de boringen in het caoutchouk bevinden zich aan den rand van de koperen plaat een viertal haakjes.

Dit sluitstuk wordt nu zoodanig aan de omgekeerde flesch bevestigd dat de laatstgenoemde boring zich in de as van de flesch bevindt. De vroeger genoemde spiraalveeren worden aan de correspondeerende haakjes bevestigd en met behulp van een hefboompje (zooals aan de bekende handzeven) flink gespannen, zoodat het caoutchouk de rand van de flesch luchtdicht afsluit. De nauwe glazen buis, die door de eene boring heensteekt wordt tot bovenin de flesch opgeschoven en verbonden met de buis, die naar het proefvertrek voert. Het buisje, dat aan de wijdere buis is vastgesmolten, verbindt men met een gasmeter, die op zijn beurt weer met een waterstraalluchtpomp in verbinding staat. Zoodoende kan men een willekeurig groot, bekend volumen lucht uit het proefvertrek door de flesch heenzuigen.

Nadat ongeveer het tienvoudig volumen van de flesch is doorgezogen, wordt de aanvoerbuis zoo ver mogelijk omlaag getrokken, de spiraalveeren losgemaakt en het sluitstuk, terwijl het voortdurend stevig tegen den rand der flesch wordt aangedrukt [1]), zoover verschoven, dat de boring, waarin het inmiddels geopende fleschje met barytwater steekt, in de as van de flesch komt te liggen. De spiraalveeren worden dan weer vastgehaakt en gespannen, de verbindingen met proefvertrek en gasmeter verbroken en het heele toestel omgekeerd, nadat het fleschje met baryt wat verder door de opening is gedraaid, zoodat de hals ongeveer 1 cM. naar binnen uit-

[1]) Dit is noodzakelijk daar het S G. van de lucht uit het proefvertrek door het hoogere CO_2 gehalte, grooter is dan dat van gewone lucht. Werd dus de flesch, in den omgekeerden stand geopend, dan zouden fouten ontstaan doordat het lucht-koolzuurmengsel eruit zou stroomen.

steekt. Het barytwater valt, zonder het caoutchouk te bevochtigen [1]) in de flesch en wordt ongeveer een uur onder herhaald schudden daarin gelaten. Na afloop van dien tijd mag men aannemen dat al het aanwezige koolzuur is geabsorbeerd. Het fleschje wordt weer teruggedraaid en alles, onder voortdurend schudden omgekeerd. Het barytwater, gemengd met het gevormde $BaCO_3$ loopt in het kleine fleschje terug, dit wordt uit het sluitstuk genomen, direct gesloten en weggezet om het $BaCO_3$ te laten bezinken. Door centrifugeeren kan dit worden bespoedigd.

Van de verdere bewerkingen valt niets bijzonders te vermelden. Alleen werd voor het afpipetteeren van de heldere bovenstaande vloeistof gebruik gemaakt van Cremer'sche pipetten (van 30 cc. inhoud). Waar het erom te doen is, een bepaald volumen vloeistof snel en nauwkeurig af te meten, levert het gebruik van deze instrumenten groote voordeelen op.

Ook gaf ik er de voorkeur aan, de barytoplossing te brengen in een overmaat $^1/_{10}$ N. zuur en deze overmaat terug te titreeren in plaats van, zooals gebruikelijk is, door directe titratie de sterkte van de $Ba(OH)_2$ oplossing te bepalen. De kans, dat er tijdens de titratie nog CO_2 uit de lucht wordt opgenomen wordt daardoor geringer.

2. *Bepalingen der waterstof.*

Om de hoeveelheid waterstof te bepalen in de lucht-

---

[1]) Dit is wenschelijk daar men (zie o. a. Blochmann: Liebigs Ann. 237 s. 39) meent gevonden te hebben dat de titer van $Ba(OH)_2$ verandert bij langdurig contact met caoutchouk.

monsters, koos ik de methode van Winkler[1]), die berust op het feit, dat waterstof volkomen wordt verbrand wanneer zij, gemengd met een toereikende hoeveelheid lucht, over verwarmd palladiumasbest wordt gevoerd. Vooral hier, waar vaak geringe hoeveelheden waterstof met groote nauwkeurigheid moesten worden bepaald, bood deze methode groote voordeelen boven die van Bunsen[2]) of Hempel[3]). Bij eerstgenoemde, waar de verbranding geschiedt door explosie, is men genoodzaakt knalgas aan het te analyseeren mengsel toe te voegen, wanneer het waterstofpercentage beneden een zekere grens daalt.

Bij de Winklersche methode daarentegen geschiedt de oxydatie direct volledig, hoe gering de concentratie der waterstof ook is.

De Hempel'sche methode (door verbranding in een, met palladiumzwart gevulde, niet-capillaire buis), staat in eenvoudigheid en nauwkeurigheid achter bij die van Winkler, waar de oxydatie in een capillair plaats vindt.

De bepalingen geschiedden op dezelfde wijze als door Winkler is aangegeven, dus ook boven water, maar om grooter nauwkeurigheid te kunnen bereiken, werd de gasburet eenigszins gewijzigd.

Vooreerst werd hieraan den door Bunte voorgeslagen vorm gegeven (fig. 5). Het wijdere deel had een inhoud van 75 cM^3, het nauwe verdeelde stuk mat 25 cM^3 en was 57 cM. lang. De verdeeling was in tiende deelen van kubieke centimeters, zoodat de deel-

[1]) Winkler. Chem. Unters. der Industriegase, 2e Abt. S. 257.
[2]) Bunsen. Gasometrische Methoden.
[3]) Hempel. Gasanalytische Methoden.

strepen ruim twee millimeter uit elkaar lagen. Honderdste kubiekcentimeters waren dus nog vrij gemakkelijk te schatten.

De verdeeling was aangebracht volgens de voorschriften van de »Physikalisch-technische Reichsanstalt", d. w. z. de deelstrepen liepen over de helft van den buisomtrek; die van de halve kubiekcentimeters over driekwart, terwijl de strepen, die de heele kubiekcentimeters aangaven, geheel waren doorgetrokken. Hierdoor was het mogelijk den juisten stand van den meniscus in de buret uiterst nauwkeurig te bepalen.

Om den invloed van temperatuurschommelingen te voorkomen, werd de buret van *B*, tot onder aan de kraan *C* omgeven door een glazen mantelbuis, waardoor, met behulp van een kleinen heete-luchtmotor, voortdurend water werd heengevoerd. Tusschen motor en watermantel was nog een spiraalvormige metalen buis ingeschakeld, die zich in een vrij groot waterreservoir bevond. Hierdoor werd voorkomen, dat de temperatuur van het water in den mantel op onregelmatige wijze veranderde.

De wijde mantel, waardoor de buret was omgeven, maakte het natuurlijk ten eenen male onmogelijk de waterniveau's in het contravat en in de buret, met eenige nauwkeurigheid in één horizontaal vlak te brengen. Daarom werd binnen den mantel, onmiddellijk naast de buret, een tweede, even wijde buis *E* aangebracht. Het niet gesloten boveneinde stak boven den mantel uit; het ondereinde was door middel van een caoutchoukslang verbonden met een ⊤-stuk in de verbindingsslang van buret en contravat. Het waterniveau in deze buis stond dus steeds even hoog als in het contravat. Het onder

normalen druk brengen van het af te lezen gasvolumen leverde aldus geen moeilijkheden op. Om het nog gemakkelijker te maken, werd het contravat aangebracht aan het statief van het H e m p e l'sche apparaat voor exacte gasanalyse.

De gasvolumina werden dus steeds onder atmospherischen druk gemeten. De temperatuur werd bepaald door middel van een thermometer met een in vijfde deelen van graden verdeelde schaal, welke thermometer naast het verwijde deel van de buret in den watermantel was bevestigd.

De bepalingen geschieden als volgt:

Eerst wordt door opheffen van het contravat en openen van de kraan *C*, de buret geheel met water gevuld en vervolgens op de gebruikelijke wijze het te analyseeren monster daarin overgebracht. Tijdens deze bewerking is de communicatie tusschen de buis *E* en het contravat door middel van een klemkraan gesloten. Is het gas in de buret overgebracht, dan worden de vloeistofspiegels in buret en contravat op ongeveer dezelfde hoogte gebracht. Men laat nu alles vijf minuten [1]) lang in rust, om het water, waarmede de binnenwand van de buret is bevochtigd, te laten afloopen. In dien tusschentijd verwijdert men uit den capillair *D* de kleine waterdruppeltjes, die daarin mogelijk zijn blijven hangen, door een dun, stijf koordje daarin te draaien. Dit is noodzakelijk, omdat dit water anders bij het overtappen van het gas in de straks te beschrijven pipet, het palladiumasbest zou bevochtigen en dus de verbranding der

[1]) Deze tijd bleek, bij den gerekten vorm van het wijdere deel der buret ruim voldoende. In een volgenden evenlangen tijd veranderde het gasvolumen niet merkbaar meer.

waterstof belemmeren. Met behulp van een goed sluitend stukje gummislang bevestigt men vervolgens op *B* den verbrandingscapillair, die op zijn beurt op dezelfde wijze wordt verbonden met een gewone H e m p e l'sche pipet, eveneens met water gevuld. De verwarming van den capillair geschiedt door twee kleine gasvlammetjes, waarvan de leiding aan het statief van de pipet is bevestigd. Om de verwarming gelijkmatiger te doen zijn omgeeft men den capillair met een stukje kopergaas.

Achter den capillair van de pipet bevindt zich een willekeurige schaalverdeeling die ten doel heeft, de vloeistofspiegel na het overtappen van het gas, weer op de oorspronkelijke plaats te kunnen terugbrengen.

De verbrandingscapillair wordt daarna zacht verwarmd, waardoor de vloeistofspiegel in den capillair van de pipet zich natuurlijk verplaatst Blijft deze meniscus op dezelfde hoogte staan, hetgeen reeds na enkele minuten het geval is, dan blijkt daaruit, dat de verbrandingscapillair zijn constante temperatuur heeft bereikt.

Het volumen van het gas in de buret wordt nu afgelezen, alsook de temperatuur van het water in de mantelbuis en de plaats van den meniscus in de capillaire buis van de pipet. Door het contravat op te heffen en de kraan van de buret te openen voert men het lucht-waterstofmengsel in een niet te snellen stroom over het verwarmd palladiumasbest.

Is de vloeistofspiegel in de buret tot aan de kraan gestegen, dan laat men het contravat weer dalen en voert zoodoende het gas in de buret terug. Daar er dus altijd nog een geringe hoeveelheid van het gasmengsel niet met het asbest in aanraking is geweest, wordt het overtappen herhaald. Zoodoende strijkt het

gasmengsel viermaal over het asbest, hetgeen een volledige verbranding der waterstof waarborgt.

Wanneer het gas voor de tweede maal in de buret wordt teruggevoerd, zorgt men, dat de vloeistofspiegel in den capillair van de pipet weer op de oorspronkelijke plaats komt te staan, hetgeen door voorzichtig opheffen of laten dalen van het contravat gemakkelijk is te bereiken. Daarop wordt de kraan van de buret gesloten, en na vijf minuten het volumen van het gas en de temperatuur afgelezen.

De volumina vóór en na de verbranding worden tot dezelfde temperatuur herleid, en uit de volumenvermindering door vermenigvuldiging met $^2/_3$ de hoeveelheid waterstof berekend.

Daar de geheele bepaling ongeveer twintig minuten in beslag neemt, komen correctie's voor verandering van den barometerstand slechts zelden voor.

Bij deze wijze van werken is verondersteld, dat de temperatuur van den verbrandingscapillair constant blijft. Natuurlijk zal dit nooit volkomen het geval zijn, doch het bleek, dat de schommelingen uiterst klein waren, vooral wanneer sterke luchtstroomen werden vermeden.

De nauwkeurigheid dezer waterstofbepalingen werd getoetst, door het analyseeren van mengsels van bekende samenstelling, die met behulp van hetzelfde toestel waren bereid en door eenige malen achtereen in verschillende mengsels van onbekende samenstelling, waterstofbepalingen uit te voeren.

Ik verkreeg daarbij de volgende resultaten :

Waterstofpercentage.		Waterstofpercentage.	
Toegevoegd.	Gevonden.	Toegevoegd.	Gevonden.
4.37	4.39	1.00	0.99
3.31	3.31	0.82	0.83
2.32	2.33	0.68	0.66
1.23	1.23	0.14	0.11

En bij achtereenvolgende bepalingen in een zelfde mengsel :

Mengsel.	1e analyse.	2e analyse.	3e analyse.	4e analyse.
1	4.81	4.82	—	
2	4.04	4.06	4.04	4.05
3	1.65	1.65	1.67	
4	7.49	7.51	7.48	
5	5.16	5.14	5.14	
6	2.82	2.82	2.81	
7	1.01	1.01	0.99	
8	0.33	0.32	0.33	

Uit deze bepalingen, waarvan geen enkele mislukte of sterk afwijkende resultaten gaf, blijkt voldoende de nauwkeurigheid, die met deze methode is te bereiken.

3. *Bepaling der zuurstof.*

Voor de bepaling der zuurstof in de lucht van het proefvertrek, werd gekozen de methode van Lindemann [1]), absorbtie der zuurstof door phosphorus. Ook

[1]) Zeitschr. f. anal. Chem. 18 (1879) S. 158.

hier werd gewerkt met dezelfde buret, die bij de bepaling der waterstof uitvoerig is beschreven.

Hoe eenvoudig en elegant deze methode ook is, toch bleek het dat zij, wanneer een eenigszins verhoogde mate van nauwkeurigheid wordt vereischt, niet ongewijzigd kan worden toegepast. Bij een aantal zuurstofbepalingen in de lucht verkreeg ik namelijk met de onveranderde methode tamelijk wisselende uitkomsten, die meest lager waren dan het zuurstofgehalte der lucht in werkelijkheid is. (Van 20.54 tot 20.78). Eigenaardig hierbij was, dat de gevonden getallen een des te grooter afwijking vertoonden, naarmate de lucht langer met den phosphor in aanraking bleef. De beste, hoewel onderling niet fraai overeenstemmende cijfers, werden verkregen, wanneer de lucht slechts 2 à 3 minuten (dus juist zoolang als Lindemann aangeeft) met den phosphor in aanraking bleef. Bij langer contact echter werd het volumen van het niet geabsorbeerde deel weer grooter. Werd evenwel het overgebleven gas, na gedurende 5 minuten of langer met den phosphorus in aanraking te zijn geweest, gedurende ongeveer 5 minuten boven kaliloog gebracht, en daarna het volumen bepaald, dan werden cijfers verkregen, die zoowel onderling, alsook met het werkelijk gehalte der lucht aan zuurstof (natuurlijk vermeerderd met het CO_2 gehalte van 0.04 %) overeenstemden. Bij een vijftal opeenvolgende bepalingen vond ik b. v.

20.96, 20.99, 20.97, 20.96, 20.96 % zuurstof + koolzuur.

De afwijkingen zijn bij deze bepaling dus niet grooter dan die bij de waterstofbepalingen.

Bijlage I.

Tijd.	Temperaturen van							Barometer.	CO_2 gehalte.	Berekende luchtw. per uur in M³.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.	Laboratorium.			
10.—	14.5	14.3	12.6	13.3	14.9	8.7				
10.20	14.5	—	—	—	—	—	16.6	753	1.075	
10.30	14.5	14.9	12.9	13.4	16.7	9.5				
10.40	14.5	15.7	13.8	13.4	17.1	9.6				
10.50	14.5	15.5	13.7	13.4	17.4	9.6				9.3
11.—	14.5	15.4	14.0	13 4	17.6	8.9				
11.10	14.5	15.6	14.0	13.4	17.9	8.8				
11.20	14.5	16.1	14.1	13.4	17.4	8.9				
11.25	14.5	—	—	—	—	—	17.2	753	0.921	
11.30	14.5	16.1	14.6	13.4	18 2	8.9				
11.40	14.4	15.0	12.9	13.5	18.3	8.9				
11.50	14.4	15.0	12.9	13.5	18.2	9.2				
12.—	14.4	15.3	13.4	13.5	18.0	9.1				8.1
12.10	14.4	15.8	15.6	13.6	17.9	8.8				
12.25	14.4	15.5	16.3	13.6	17.9	8.7				
12.30	14.4	15.4	15.9	13.6	18.4	—				
12.35	14.4	—	—	—	—	—	18.0	753	0.800	
12.40	14.4	16 8	16.8	13.7	18.2	8 7				
12.50	14.4	15.8	14.1	13.7	17.9	8.8				
1.—	14.4	15.6	13.6	13.7	17.6	8 7				7.4
1.10	14.4	15.6	14.1	13.6	17.3	8.7				
1.20	14.4	15.5	13.9	13.6	17.2	8.7				
1.25	14.4	—	—	—	—	—	17.2	753	0.727	
1.30	14.4	15.3	13.4	13.6	16.7	8.8				
1 40	14.4	15.4	13.8	13.6	16.7	8.8				
1.50	14.4	15.1	13.3	13.7	16.6	8.8				6,2
2.—	14.4	15.0	13.3	13.7	16.2	8.1				
2.10	14.4	15.0	13.1	13.6	16.2	8.9				
2.20	14.3	14.7	12.8	13.6	16.2	8.9				
2.30	14.3	14.1	12.4	13.6	16.0	8.8	16.8	753	0.658	
2.40	14.3	13.8	12.2	13.6	16.0	8.6				
2.50	14.3	13.8	12.0	13.7	16.0	8.3				6.8
3.—	14.3	13.8	12.0	13.7	16.0	8 5				
3.10	14.3	13.6	11.9	13.7	15.9	8.5				
3.20	14.3	13.6	11.9	13.6	15.9	8.3				
3.30	14.3	13.6	11.8	13.6	15.7	8.4				
3.40	14.3	13.6	11.9	13.6	15.5	8.4	16.5	753	0.583	
3.50	14.3	13.6	11.9	13.6	15.6	8.5				
4.—	14.3	13.6	11.9	13.6	15.6	8.6				6.2
4.10	14.3	13.5	12.0	13.6	15.4	8.6				
4.20	14.3	13.5	11.9	13.5	14.9	8 3				
4.30	14.3	13.5	12.6	13.5	14.7	8.0	16 2	753	0.540	

Bijlage II.

Tijd.	Temperaturen van							Barometer.	CO_2 in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.	Laboratorum.			
9.45	10.2	9.5	10.1	9.6	11.7	12.5				
9.55	10.2	—	—	—	—	—	10.4	756	0.788	
10.—	10.2	9.5	10.0	9.6	11.7	12.0				9.3
10.10	10.2	—	—	—	—	—	10.4	756	0.760	
10.15	10.2	9.5	10.0	9.6	11.9	12.0				
10.30	10.2	9.6	10.0	9.7	12.0	12.0				
10.45	10.2	9.5	10.0	9.6	11.9	12.7				8.7
11.5	10.2	9.6	10.0	9.7	12.2	12.6				
11.15	10.2	9.6	10.0	9.7	12.3	12.7	10.7	756	0.658	
11.30	10.2	9.6	10.0	9.7	12.6	12.9				
11.45	10.2	9.6	10.0	9.7	12.6	12.8				7.8
11.55	10.2	—	—	—	—	—	11.9	756	0.608	
12.—	10.2	9.6	10.0	9.7	12.7	13.0				
12.15	10.2	9.6	10.0	9.8	12.9	13.6				
12.30	10.2	9.6	10.0	9.8	12.7	13.7				6.6
12.45	10 2	9.6	10.2	9.8	12.7	13.7				
12.55	10.2	—	—	—	—	—	10.8	755	0.550	
1.—	10.2	9.6	10.1	9.8	12.6	13.5				
1.15	10.2	9.7	10.1	9.9	12.7	13.7				
1 30	10.2	9.6	10.1	9.9	12.6	13.7				6.5
1.45	10.2	9.7	10.1	9.9	12.6	13.8				
2.—	10.2	9.7	10.1	9.9	12.8	14.2				
2.15	10.2	9.7	10.1	9.9	12.9	13.9	11.2	755	0.483	
2.30	10.2	9.7	10.1	9.9	12.9	13.9				
2.45	10.2	9.7	10.1	9.9	12.6	13.7				
2.55	10.2	—	—	—	—	—	11.0	755	CO_2 bepaling onbetrouwbaar.	6.1
3.—	10.2	9.7	10.1	9.9	12.5	13.8				
3.15	10.2	9.7	10.1	9.9	12.4	13.9				
3.30	10.2	9.6	10.1	9.9	12.7	13.7				
3.45	10.2	9.6	10.1	9.9	12.7	13.6				
3.55	10.2	—	—	—	—	—	11.2	755	0.416	
4.—	10.2	9.7	10.1	9.9	12.8	13.6				
4.15	10.2	9.7	10.1	10.0	12.7	13.2				4.4
4.20	10.2	—	—	—	—	—	11.4	755	0.405	
4.30	10.2	9.7	10.1	10.0	12.6	12.9				

Bijlage III.

Tijd.	Temperaturen van							Baro-meter.	CO_2 gehalte.	Berekende luchtw. in M³. per uur.
	Proef-vertrek.	Zijver-trek I.	Zijver-trek II.	Zijver-trek III.	Boven-vertrek.	Buiten-lucht.	Labora-torium.			
9 45	11.8	13.2	13.5	11.7	13.4	13.1				
9.55	11 8	13.3	13.6	11.7	13.6	13.4				
10.—	11 8	—	—	—	—	—	13.0	757	1.049	
10.5	11.7	13.2	13.5	11.7	13.4	13.2				10.8
10.15	11.7	13.2	13.4	11.7	13.3	12.6				
10.25	11.7	13.1	13.4	11.7	13.4	12.7	13.0	757	0.987[5]	
10.35	11.7	13.0	13.3	11.7	13.0	12.2				
10.45	11.7	12 9	13.2	11.7	13.0	11.7				
10.55	11 7	13.0	13.1	11.7	13.3	12.2				7.0
11.5	11.6	12.9	13.0	11.7	13.2	12.3				
11.15	11 6	12.9	13.2	11.7	13.2	12.2				
11.20	11.6	—	—	—	—	—	12.9	757	0.886	
11.25	11.6	12 8	12.9	11.7	13.4	12.5				
11.35	11.6	12.8	13.0	11.7	13.3	12.5				
11.55	11.6	12 8	12.9	11.7	13.3	11.7				6.5
12 5	11.6	12.8	13.0	11.7	13.3	11.7				
12.15	11.6	12.7	12.9	11.7	13.4	11.7				
12.20	11 6	—	—	—	—	—	13.0	757	0.802	
12.25	11.6	12.7	12.8	11.7	13.4	11.5				
12.35	11.5	12.7	12.7	11.7	12.8	11.3				
12.45	11.5	12 7	12.7	11.6	13.2	11.0				5.6
12.55	11.5	12.7	12.7	11.6	13.2	11.0				
1.5	11.5	12.7	12.6	11.6	13.2	11.0				
1 15	11.5	12.6	12.5	11.6	13.2	10.9				
1.20	11.5	—	—	—	—	—	12.7	757	0.736	
1.25	11.5	12.6	12.6	11.6	13.2	10.9				
1.35	11.5	12.6	12.5	11.6	13.2	10.9				
1.45	11.5	12 6	12.5	11.6	13.2	9.7				4.9
1.55	11.5	12.6	12.6	11.6	13.1	9.6				
2.5	11.5	12.8	13.0	11.6	13.1	10.5				
2.15	11.5	12.8	13.1	11.6	13.0	10.5				
2 20	11 5	—	—	—	—	—	12.9	757	0.683	
2.25	11.5	12.8	13.1	11.6	13.1	10.5				

Bijlage IV.

Tijd	Temperaturen van							Barometer	CO_2 in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.	Laboratorium.			
9.55	11.0	11.2	11.9	10.5	11.7	9.7				
10.5	11.0	—	—	—	—	—	11.7	769	0.679	
10.10	11.0	11.1	11.7	10.4	11.8	9.8				
10.25	11.0	11.1	11.7	10.4	11.6	9.4				13.6
10.40	11.0	11.1	11.8	10.5	11.6	9.8				
10.55	10.9	11.0	11.8	10.5	12.0	9.6				
11.5	10.9	—	—	—	—	—	12.0	769	0.552	
11.10	10.9	11.1	11.7	10.5	12.3	10.3				
11.25	10.9	11.1	11.8	10.6	12.4	10.5				12.4
11.40	10.9	11.1	11.8	10.6	12.7	10.4				
11.55	10.9	11.1	11.9	10.7	12.8	10.6				
12.5	10.9	—	—	—	—	—	12.2	769	0.458[5]	
12.10	10.8	11.1	11.8	10.7	12.8	10.6				
12.30	10.8	11.1	11.8	10.6	12.3	10.6				10.5
12.40	10.8	11.1	11.8	10.6	12.3	10.9				
12.55	10.8	11.1	11.9	10.6	12.4	10.9				
1.5	10.8	—	—	—	—	—	12.1	769	0.392	
1.10	10.8	11.1	11.8	10.6	12.4	10.6				
1.25	10.8	11.1	11.8	10.6	12.2	10.6				
1.40	10.8	11.1	11.8	10.6	12.2	11.3				
1.55	10.8	11.1	11.7	10.6	12.2	10.9				
2.5	10.8	—	—	—	—	—	12.1	769	Koolzuur bepaling mislukt.	9.9
2.10	10.8	11.1	11.8	10.6	12.2	11.1				
2.25	10.8	11.1	11.8	10.6	12.2	10.9				
2.40	10.8	11.1	11.7	10.6	12.2	10.9				
2.55	10.8	11.1	11.8	10.6	12.2	11.6				
3.10	10.8	11.1	11.7	10.6	12.2	10.7	12.2	769	0.292	
3.25	10.8	11.1	11.7	10.6	12.2	11.3				
3.40	10.8	11.1	11.7	10.6	12.1	11.0				9.3
3.55	10.8	11.1	11.7	10.6	12.1	10.6				
4.5	10.8	—	—	—	—	—	12.2	769	0.260	
4.10	10.8	11.1	11.7	10.6	12.1	10.7				

Bijlage V.

Tijd.	Temperaturen van						Barometer.	*H* in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.			
10.10	15.7	16.3	—	16.6	19.7	18.8			
10.15	15.7	—	—	—	—	—	762	1.64	
10.40	15.7	16.4	18.2	16.7	19.7	18.7			
10.55	15.7	16.4	18.0	17.1	19.6	18.5			4.5
11.10	15.7	16.4	18.0	17.6	19.4	18.0			
11.15	15.6	—	—	—	—	—	762	1.52⁵	
11.40	15.6	16.3	17.8	17.8	19.5	18.0			
11.55	15.6	16.3	17.7	17.8	19.6	18.1			4.9
12.10	15.6	16.3	17.5	18.0	19.6	18.2			
12.15	15.5	—	—	—	—	—	762	1.41	
12.40	15.5	16.3	17.5	18.0	19.8	18.5			
12.55	15.5	16.3	17.5	18.2	19.8	18.8			5.5
1.10	15.5	16.2	17.4	18.3	19.9	—			
1.15	15.5	—	—	—	—	—	762	1.29	
1.40	15.5	16.2	17.5	18.0	20.2	19.4			
1.55	15.5	16.3	17.7	18.3	20.4	19.9			4.7
2.10	15.5	16.4	17.7	18.3	20.6	19.9			
2.15	15.5	—	—	—	—	—	762	1.19⁵	
2.40	15.5	16.4	17.8	17.8	20.5	19.9			
2.55	15.5	16.5	18.0	18.3	20.4	19.3			5.7
3.10	15.5	16.5	18.0	18.2	20.3	19.3			
3.15	15.5	—	—	—	—	—	762	1.09	
3.40	15.5	16.4	18.0	18.5	20.6	19.8			
3.55	15.5	16.5	18.1	18.3	20.7	19.4			3.5
4.10	15.5	16.5	18.0	18.3	20.6	19.8			
4.15	15.5	—	—	—	—	—	762	1.03	
4.40	15.5	16.5	18.0	18.5	20.6	19.7			

Bijlage VI.

Tijd.	Temperaturen van						Barometer.	Waterstof in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.			
9.55	17.2	18.0	18.4	17.9	20.3	21.5			
10.25	17.2	18.0	18.4	17.9	20.3	21.2			
10.45	17.2	—	—	—	—	—	767	1.83	
11.5	17.2	18.1	18.7	17.9	20.4	21.0			4.6
11.25	17.1	18.2	18.8	17.9	20.5	21.0			
11.35	17.1	18.2	18.8	17.9	20.5	20.8			
11.45	17.1	—	—	—	—	—	768	1.70	
12.15	17.0	18.1	18.8	17.9	20.5	21.4			3.0
12.35	17.0	18.1	18.8	17.9	20.6	21.4			
12.45	17.0	—	—	—	—	—	768	1.62	
1.10	17.0	18.1	18.8	17.9	20.7	21.6			4.3
1.30	17.0	18.1	18.8	17.9	20.8	22.1			
1.45	17.0	18.1	—	—	—	—	768	1.51	
2.5	17.0	18.1	18.8	17.9	20.9	22.5			3.3
2.25	17.0	18.1	18.8	17.9	20.9	22.6			
2.40	17.0	18.1	18.7	17.9	21.0	22.5			
2.45	17.0	—	—	—	—	—	768	1.43	
3.—	17.0	18.1	18.7	17.9	21.0	22.7			2.7
3.20	17.0	18.2	18.9	17.9	21.0	23.2			
2.35	17.0	18.2	18.8	17.9	21.0	23.2			
3.45	17.0	—	—	—	—	—	768	1.37	
4.5	17.0	18.2	18.7	17.9	21.0	22.9			

Bijlage VII.

Tijd.	Temperaturen van						Barometer.	Waterstof in %	Berekende luchtwisseling in M³.	Koolzuurgehalte in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.					
9.45	16.4	18.2	17.7	17.4	20.2	22.1					
10.—	16.4	17.7	17.8	17.3	20.5	22.3					
10.10	—	—	—	—	—	—	777			0.498	
10.15	16.3	17.7	18.1	17.3	20.7	22.2		1.69			
10.30	16.3	17.7	18.0	17.3	20.8	21.7					
10.45	16.3	17.7	18.5	17.3	21.1	22.2			**6.6**		**11.4**
11.—	16.3	17.9	18.6	17.3	21.3	22.2					
11.10	16.3	—	—	—	—	—	776			0.421	
11.15	16.3	17.8	18.3	17.3	21.0	21.5		1.52			
11.30	16.3	17.7	18.2	17.3	21.1	21.2					**8.8**
11.45	16.3	17.7	18.2	17.3	21.0	20.7			**1.7**		
12.—	16.3	17.7	18.2	17.3	21.2	20.6					
12.10	16.3	—	—	—	—	—	776			0.370[5]	
12.15	16.3	17.7	17.9	17.3	21.5	20.7		1.48			
12.30	16.3	17.7	17.9	17.3	21.5	20.5					**8.3**
12.45	16.3	17.7	17.9	17.3	21.5	20.2					
1.—	16.3	17.7	17.9	17.3	21.5	20.3			**6.6**		
1.10	16.3	—	—	—	—	—	776			0.329	
1.15	16.3	17.7	17.9	17.3	21.5	20.4		1.33			
1.30	16.3	17.7	17.9	17.3	21.7	20.7					
1.45	16.3	17.7	17.9	17.3	21.5	20.1			**3.8**		
2.—	16.3	17.7	17.9	17.3	21.6	20.4					
2.15	16.3	17.7	17.9	17.4	21.6	20.6	776	1.25			
2.30	16.3	17.7	17.9	17.4	21.5	20.6					
2.45	16.3	17.7	17.9	17.4	21.7	20.7			**4.4**		**7.5**
3.—	16.3	17.7	17.9	17.4	21.7	20.9					
3.15	16.3	17.7	18.0	17.4	21.8	20.9					
3.25	16.3	—	—	—	—	—	776	1.15			
3.30	16.3	17.7	17.9	17.4	21.7	20.7					
3.45	16.3	17.7	17.9	17.4	21.8	20.9					
4.—	16.3	17.7	17.9	17.4	21.8	20.7			**3.3**		
4.10	16.3	—	—	—	—	—	776			0.241	
4.15	16.3	17.7	17.9	17.4	21.7	20.6		1.10			
4.30	16.3	17.7	17.9	17.4	21.7	21.0					

Bijlage VIII.

Tijd.	Temperaturen van						Baro-meter.	H in %	Berekende luchtwisse-ling in M³. per nur.	CO_2 in %	Berekende luchtwisse-ling in M³. per unr.
	Proef-vertrek.	Zijver-trek I	Zijver-trek II.	Zijver-trek III.	Boven-vertrek.	Buiten-lucht.					
9.30	15.3	15.3	15.5	14.2	14.0	15.2					
9.45	15.3	15.3	15.6	14.7	14.1	15.0				—	
9.50	15.3	—	—	—	—	—	768	1.49			
10.—	15.3	15.3	15.6	14.2	14.2	15.2					
10.15	15.3	15.3	15.7	14.2	14.4	15.4			**4.3**		
10.30	15.3	15.3	15.8	14.2	14.6	15.4					
10.45	15.3	15.3	16.2	14.3	14.6	15.2				0.643	
10.50	15.3	—	—	—	—	—	768	1.39			
11.—	15.3	15.5	16.5	14.4	14.6	15.5					**8.0**
11.15	15.3	15.4	16.4	14.3	15.0	15.7			**3.7**		
11.30	15.3	15.8	16.3	14.4	15.1	16.2					
11.45	15.25	15.9	16.0	14.4	15.1	16.0				0.570	
11.50	15.25	—	—	—	—	—	768	1.31			
12.—	15.25	15.6	15.9	14.5	15.3	15.9					**7.7**
12.15	15.25	15.3	15.9	14.4	15.3	16.0			**5.4**		
12.30	15.25	15.2	15.6	14.3	15.3	16.0					
12.45	15.25	15.3	16.0	14.5	15.3	16.0				0.508	
12.50	15.25	—	—	—	—	—	768	1.20			
1.—	15.25	15.2	15.6	14.3	15.3	15.9					**5.5**
1.15	15.25	15.3	15.7	14.3	15.4	15.8			**3.7**		
1.30	15.25	15.3	15.7	14.3	15.5	15.8					
1.45	15.25	15.2	15.5	14.3	15.5	15.8				0.468	
1.50	15.2	—	—	—	—	—	768	1.13			
2.—	15.2	15.3	15.6	14.4	15.6	16.0					**7.5**
2.15	15.2	15.2	15.5	14.4	15.6	15.8			**5.1**		
2.30	15.2	15.1	15.5	14.4	15.8	15.9					
2.45	15.2	15.2	15.5	14.5	15.8	16.1				0.419	
2.50	15.2	—	—	—	—	—	768	1.04			
3.—	15.2	15.2	15.5	14.4	15.8	16.0					**6.6**
3.15	15.2	15.2	15.5	14.3	15.7	16.0			**3.1**		
3.30	15.2	15.2	15.3	14.3	15.5	15.5					
3.45	15.2	15.2	15.3	14.3	15.5	15.1				0.381	
3.50	15.2	—	—	—	—	—	768	0.99			
4.—	15.2	15.1	15.2	14.3	15.4	15.1					

Bijlage IX.

Tijd.	Temperaturen van						H in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.		
9.25	16.7	17.6	18.3	16.3	20.7	19.8		
9.30	16.7	—	—	—	—	—	1.62	
9.55	16.6	17.6	18.3	16.6	21.0	20.4		
10.10	16.6	17.9	18.7	16.5	21.3	21.3		4.3
10.25	16.6	18.0	18.7	16.4	21.7	21.8		
10.30	16.5	—	—	—	—	—	1.51	
10.55	16.5	18.2	18.9	16.4	22.0	22.0		
11.10	16.5	18.3	19.2	16.5	21.4	21.7		4.5
11.25	16.5	18.4	19.2	16.5	21.7	21.7		
11.30	16.5	—	—	—	—	—	1.40⁵	
11.55	16.5	18.4	19.2	16.5	21.8	21.7		
12.10	16.5	18.3	19.1	16.5	22.0	21.8		5.3
12.25	16.5	18.2	19.0	16.5	22.2	21.9		
12.30	16.5	—	—	—	—	—	1.29	
12.55	16.5	18.2	18.8	16.5	22.0	21.6		
1.10	16.5	18.3	19.4	16.6	21.8	21.5		2.9
1.25	16.5	18.3	19.3	16.6	22.2	21.5		
1.30	16.5	—	—	—	—	—	1.23	
1.55	16.5	18.3	19.3	16.6	22.2	22.0		
2.10	16.5	18.4	19.7	16.7	22.2	22.1		4.2
2.25	16.5	18.3	19.5	16.7	22.2	22.1		
2.30	16.4	—	—	—	—	—	1.15	
2.55	16.4	18.2	19.2	16.7	22.2	22.0		
3.10	16.4	18.2	19.2	16.7	22.3	22.2		3.9
3.25	16.4	18.6	19.7	16.7	22.3	22.0		
3.30	16.4	—	—	—	—	—	1.08	
3.55	16.4	18.5	19.6	16.7	22.5	22.2		
4.10	16.4	18.4	19.4	16.8	22.3	22.2		2.9
4.25	16.4	18.5	19.7	16.8	22.3	22.2		
4.30	16.4	—	—	—	—	—	1.03	
4.55	16.4	18.6	19.9	16.7	22.2	21.9		
6.10	16.3	18.3	18.6	16.7	21.9	21.0		4.2
6.25	16.3	18.2	18.5	16.7	21.9	21.0		
6.30	16.3	—	—	—	—	—	0.90	
6.55	16.3	18.1	18.3	16.7	21.8	20.8		
7.10	16.3	18.0	18.3	16.7	21.7	20 3		3.5
7.25	16.3	18.0	18.3	16.7	21.5	19.8		
7.30	16.3	—	—	—	—	—	0.85	
7.55	16.3	17.8	18.1	16.7	21.3	18.5		
8.10	16.3	17.8	18.0	16.7	21.2	18.0		3.4
8.25	16.3	17.8	18.0	16.7	21.1	17.9		
8.30	16.3	—	—	—	—	—	0.80⁵	
8.55	16.3	17.8	18.0	16.7	20.9	17.6		
Den volgenden dag werd de proef voortgezet.								
9.55	16.5	17.5	17.6	17.0	21.6	20.0		4.2
10.10	16.6	17.5	17.6	16.9	21.6	19.5		
10.25	16.6	17.5	17.6	16.9	21.7	19.8		
10.30	16.6	—	—	—	—	—	0.39	
10.55	16.6	17.5	17.6	16.9	21.8	20.5		

Bijlage X.

Tijd.	Temperaturen van						H in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proef-vertrek.	Zijver-trek I.	Zijver-trek II.	Zijver-trek III.	Boven-vertrek.	Buiten-lucht.		
8.20	16.6	16.8	17.0	16.2	19.7	—		
8.25	16.6	—	—	—	—	—	2.56	
8.50	16.4	16.7	16.8	16.3	19.7	—		
9.5	16.4	16.7	16 8	16.4	19.7	19.8		4.3
9.20	16.4	16 7	16.8	16.4	19.8	18.3		
9.25	16.3	—	—	—	—	—	2.39	
9.50	16.3	16.8	17.3	16.8	19 8	17.6		
10.5	16.2	16.7	17 0	16.5	19.8	16.7		6 3
10.20	16.2	16.7	16.9	16.5	19.7	16.9		
10.25	16.2	—	—	—	—	—	2.16	
10 50	16.1	16.7	16.9	16.6	19.8	17.5		
11.5	16.1	16.6	16.7	16.6	20 0	16.9		3.8
11.20	16.1	16.6	16.7	16.6	19.8	16.0		
11.25	16.1	—	—	—	—	—	2.03	
11.50	16.1	16.6	16.7	16.5	19.4	15.8		
12.5	16.1	16.6	16.7	16.6	19.3	15 5		4.4
12.20	16.1	16.6	16.7	16 5	19.3	—		
12.25	16.1	—	—	—	—	—	1.89	
12.50	16.1	16.5	16.7	16.5	19.0	14.6		
1.5	16.1	16.5	16.7	16.5	18.9	14.6		4.8
1.20	16.1	16.6	16.7	16.5	18.9	13.6		
1.25	16.1	—	—	—	—	—	1.75	
1.50	16.1	16.5	16.4	16.3	18.6	13.9		
2.5	16.1	16.5	16.4	16.3	18.7	13.8		4.8
2.20	16.1	16 5	16 3	16.3	18.7	13.8		
2 25	16.1	—	—	—	—	—	1.62	
2 50	16.1	16.6	16.4	—	18.7	13.5		
3.5	16.1	16.5	16.3	16.2	18.5	13.3		3.9
3.20	16.1	16.5	16.0	16.3	18.4	12.9		
3.25	16.1	—	—	—	—	—	1.52	
3.50	16.1	16.5	15.8	16.1	18.7	13.0		
4.5	16.1	16.4	16.0	16.2	18.8	13.2		4.2
4.20	16.1	16.4	15.9	16.2	18.7	12.6		
4.25	16.1	—	—	—	—	—	1.42	
4.50	16.1	16.4	15.7	16.1	18.5	12.5		
5.50	16.0	16.4	16 3	16.0	17.9	12.8		3.9^5
6.5	16.0	16.4	16.3	16.0	17.8	12.7		
6.20	16.0	16 4	16 3	16.0	17.8	12.7		
6.25	16.0	—	—	—	—	—	1.25	
6.50	16.0	16.4	16.3	16.0	17.9	12.8		
7.5	16.0	16.4	16 3	16.0	17.8	12.7		3.6
7.20	16.0	16.4	16.3	16.0	17.8	12.7		
7.25	16.0	—	—	—	—	—	1.18	
7.50	16.0	16.4	16.3	16.0	17.8	12.6		
8.5	16.0	16 5	16.3	16.0	17.7	12.5		3.0
8.20	16.0	16.4	16.3	15.9	17.7	12.5		
8.25	16.0	—	—	—	—	—	1.12^5	
8.50	16.0	16.4	16.3	15.9	17.7	12.3		
Den volgenden morgen werd gevonden :								
9.5	15.9	16.3	16.3	15.8	18.4	15.5		
9.20	15.9	16.3	15.8	15.8	18.4	15.0		3.8
9.25	15.9	—	—	—	—	—	0.51	
9.50	15.9	16.3	15.6	15.8	18.5	15.3		

Bijlage XI.

Tijd.	Temperaturen van						O in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.		
9.25	18.2	19.8	21.2	18.0	21.8	24.3		
9.30	18 2	—	—	—	—	—	22.39	
9.45	18 2	20.1	21.7	18.7	22.0	24.5		
9.55	18.1	19.5	20.2	18.3	22.0	24.7		3 6
10.10	18.1	19.3	19 7	18 2	22.3	24.7		
10.25	18.1	19 3	20.2	18.1	22.3	24.0		
10.30	13.1	—	—	—	—	—	22.31	
10.45	18.1	19.3	20 2	18.2	22.3	24.5		
10.55	18.1	19.4	20.2	18.2	22.4	25.0		3.3
11.10	18.1	21.0	21 2	18.2	22.9	25.0		
11.25	18.1	21.3	21.3	18.3	23.0	24.5		
11.30	18 1	—	—	—	—	—	22.24	
11.45	18.1	21.3	21.3	—	23 1	24.9		
11.55	18.1	21.2	21.2	18.5	23 2	25.3		2 7
12.10	18.1	21 2	21.3	18.4	23.3	25.3		
12.25	18 1	21.3	21.5	18 4	23.3	25.3		
12.30	18.1	—	—	—	—	—	22.18[5]	
12.45	18.1	21.2	20.9	18.4	23.4	25.8		
12.55	18.1	21.1	21.0	18.8	23.4	25.8		2 3
1.10	18.1	21.2	21.1	18.5	23.4	26.1		
1.25	18.1	21.3	21.0	18 4	23.3	26.5		
1.30	18 1	—	—	—	—	—	22.14	
1.45	18.1	21 3	21.0	18.4	23.4	26.8		
1.55	18.1	21.8	21.3	18.4	23.4	26.7		1.6
2.10	18.1	21 5	20.8	18.4	23.4	27.0		
2.25	18.1	21.5	21.3	18.3	23.6	26.9		
2.30	18.1	—	—	—	—	—	22.11	
2.45	18.1	21.3	20.8	18.4	23 7	27.0		
2.55	18.1	21.6	21.6	18.4	23.8	26.9		1.6
3.10	18.2	21.7	21.8	18.4	24.0	26.6		
3 25	18.2	21.7	21.8	18.4	24.0	26.7		
3.30	18.2	—	—	—	—	—	22.08	
3.45	18.2	21.4	21.8	18.4	24.0	26.3		
3 55	18.2	21.7	21.7	18.4	24.1	27.0		1.1
4.10	18.2	21.3	21.9	18.4	24.0	27.0		
4.25	18.2	21.3	22.1	18 5	23.9	26.7		
4.30	18.2	—	—	—	—	—	22.06	
4.45	18.2	21.3	22 2	18.5	24.0	26.7		

Bijlage XII.

Tijd.	Temperaturen van						O in %	Berekende luchtwisseling in M³. per uur.
	Proefvertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Bovenvertrek.	Buitenlucht.		
9.50	17.2	16.9	17.1	17.6	18.7	17.4		
10.30	17.2	—	—	—	—	—	22.37	
10.45	17.2	16.9	17.2	17 6	18.7	17.0		
11.—	17.1	16.8	17.2	17.6	18.9	17.2		5 5
11.15	17.1	16.8	17.2	17.6	18.9	17.1		
11.25	17.1	16.8	17.2	17.6	19.0	17.5		
11.30	17.1	—	—	—	—	—	22 25	
11.45	17.1	16.8	17.1	17.7	19.0	17 3		
12.—	17.1	16.8	17.1	17.7	19.1	17.2		5.0
12.25	17.1	16.8	17.1	17.7	19.3	17.5		
12.30	17.1	—	—	—	—	—	22.15	
12.45	17.1	16.8	17.1	17.7	19.0	16.2		
1.—	17.1	16.8	17.1	17.6	19.2	17.0		
1.15	17.1	16.8	17.2	17.7	19.3	17.2		1.6
1.25	17.1	16.8	17.1	17.7	19 3	17.0		
1.30	17.1	—	—	—	—	—	22.12	
1.45	17.1	16.8	17.1	17.7	19.3	17.1		
2.—	17.1	16.8	17.0	17,7	19.2	16.9		3.8⁵
2.15	17.1	16.8	16.9	17.7	19.2	16.8		
2.25	17.1	16.8	16.9	17.7	19.2	17.0		
2 30	17.1	—	—	—	—	—	22.05	
2.45	17.1	16.9	16.9	17.7	19.3	17.0		
3.—	17.1	16.8	16.9	17.7	19.2	16.6		
3.15	17.1	16.8	16·9	17.7	19.2	16 8		2.3
3.25	17.1	16.8	16.9	17.7	19.2	16.8		
3.30	17.1	—	—	—	—	—	22.01	
3.45	17.1	16.8	16.8	17.7	19.1	16.7		
4.—	17.1	16.8	16.8	17.7	19.0	16.5		
4.15	17.1	16.8	16.8	17.7	18.9	16.3		1.2
4.25	17.1	16.8	16.8	17.7	18.9	16,3		
4.30	17.1	—	—	—	—	—	21.99	
4.45	17.1	16.8	16.8	17 6	18.7	15.8		

Bijlage XIII.

Tijd.	Temperaturen van						O in %
	Proef-vertrek.	Zijvertrek I.	Zijvertrek II.	Zijvertrek III.	Boven-vertrek.	Buiten-lucht.	
9.25	16.7	16.6	16.7	17.0	17.5	16.8	
9.30	16.7	—	—	—	—	—	21.57
9.45	16.7	16.6	16.5	17.0	17.6	16.1	
10.—	16.7	16.5	16.4	17.9	17.7	16.3	
10.25	16.7	16.5	16.4	17.0	17.7	15.8	
10.30	16.7	—	—	—	—	—	21.57
10.45	16.7	16.5	16.5	17.0	17.6	15.8	
11.—	16.7	16.5	16.7	17.0	17.5	15.9	
11.15	16.7	16.5	16.7	17.0	17.5	15.8	
11.25	16.7	16.5	16.8	17.0	17.8	16.3	
11.30	16.7	-	—	—	—	—	21.56
11.45	16.7	16.6	16.8	17.0	17.8	16.5	
12.—	16.7	16.6	16.7	17.0	17.8	16.0	
12.15	16.6	16.6	16.8	17.0	17.8	16.2	
12.25	16.6	16.5	16.8	17.0	17.8	15.8	
12.30	16.6	—	—	—	—	—	21.52
12.45	16.6	16.5	16.7	17.0	17.7	16.0	
1.—	16.6	16.5	16.7	17.0	17.8	16.0	
1.15	16.6	16.5	16.8	17.0	17.8	16.0	
1.25	16.6	16.5	16.7	17.0	17.8	16.0	
1.30	16.6	—	—	—	—	—	21.53
1.45	16.6	16.5	16.7	17.0	17.8	15.4	
2.—	16.6	16.5	16.7	1.70	17.8	15.8	

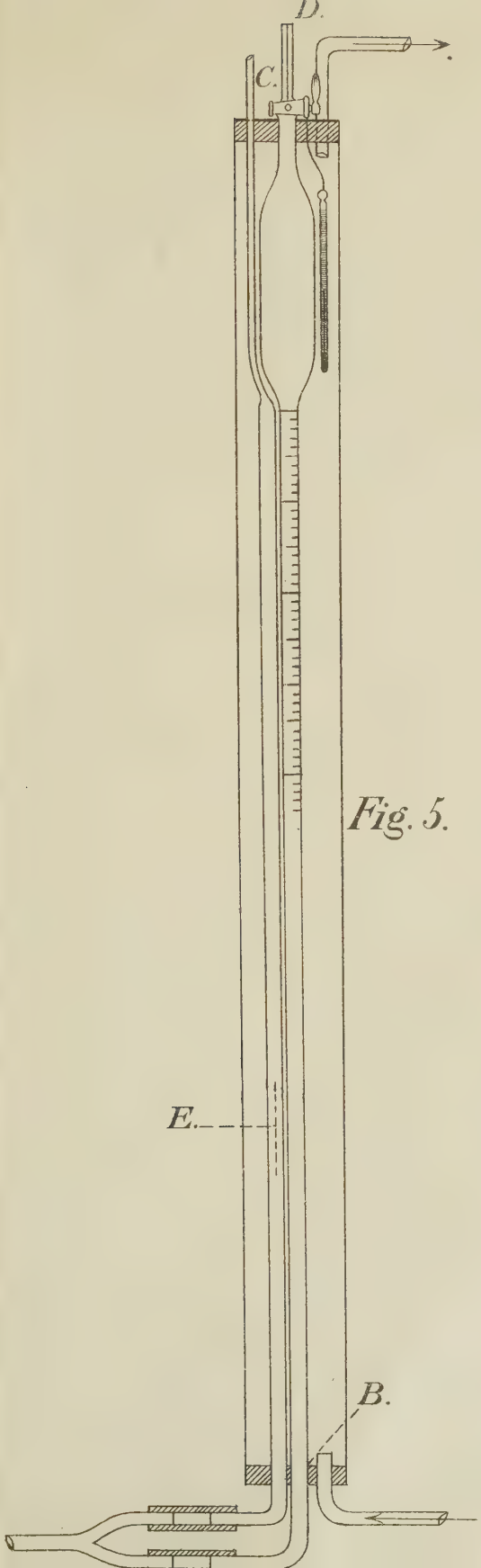

Fig. 5.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

De meening van Pettenkofer, uitgesproken in den zin „ich glaube nicht zu irren, wenn ich die „Abnahme der Kohlensäure in einer Zimmerluft als „einen sicheren Maassstab für den Luftwechsel annehme, „der in demselben stattfindet, vorausgesetzt, dass die „Wände des Zimmers trocken, und das Gebäude nicht „zu neu ist" (Luftwechsel s. 80), is onjuist.

II.

Een installatie voor centrale verwarming behoort steeds gepaard te gaan met een daarvan onafhankelijke ventilatie-inrichting.

III.

Zuivering van drinkwater door middel van ozon, is in beginsel te verkiezen boven zand- of snelfiltratie.

IV.

B. coli commune is een zeer bruikbare indicator van verontreiniging van drinkwater.

V.

Ten onrechte hecht K o n i n g (Pharm. Weekbl. 1906 blz. 661) weinig of geen waarde aan de E y k m a n'sche gistingsproef voor het hygiënisch drinkwateronderzoek.

VI.

Ter verkrijging eener afdoende desinfectie van vertrekken, met behulp van formaldehyde, is het gebruik van toestellen, die tijdens de bewerking verplaatsbaar zijn, noodzakelijk.

VII.

Het afsterven van bacteriën door licht, is aan een directe lichtwerking toe te schrijven.

VIII.

De opvatting der bacteriologie als medische wetenschap, staat hare ontwikkeling in den weg.

IX.

Cijfers voor de voedingswaarde van een voedingsmiddel, zonder digestieproeven verkregen, zijn waardeloos.

X.

Staatstoezicht op voedingsmiddelen, wordt door het oprichten van keuringsdiensten van gemeentewege, eerder meer, dan minder noodzakelijk gemaakt.

XI.

Bij de uitvoering en handhaving van een rijkswet op de voedingsmiddelen, worde den directeuren der verschillende laboratoria groote zelfstandigheid gelaten, zoowel in de keuze der methoden van onderzoek, als in de bestrijding van overtreding der wet.

XII.

Men kan niet spreken over *de* physiologische beteeteekenis van *de* alcaloïden in *de* plant.

XIII.

De bewering van S t a h l (Ann. d. jard. bot. de Buitenzorg 13. 2. 162), als zoude het bladrood voor de

plant zijn »ein Mittel, die Stoff- und Kraftwechselpro-»cesse zu beschleuningen", is, althans voor het herfstrood, minder waarschijnlijk dan de K e r n e r'sche »Licht-»schirmtheorie".

XIV.

Ten onrechte noemt B r e d i g zijn colloïdale oplossingen van edele metalen »anorganische Fermente".

XV.

Bij het artikel Pilulae Sulfatis Chinini der Nederlandsche Pharmacopee Ed. IV, behooren zoowel quantitatieve bepaling der kinine, als zuiverheidsreactie's op het af te scheiden alcaloïde, te worden voorgeschreven.

XVI.

Even zelden als het »physiologisch koper" zal het »physiologisch arsenik", den toxicoloog bijzondere moeilijkheden veroorzaken.

XVII.

Den pharmaceut-toxicoloog worde, gedurende zijn

studietijd, gelegenheid geboden tot het bijwonen van sectie's.

XVIII.

De chemische deskundige, in een strafzaak benoemd, worde door den rechter-commissaris volledig ingelicht over den stand der instructie.